

## INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS EM ARGAMASSAS

DULCE MARGARIDA GRAÇA RIBEIRO  
Outubro de 2019

# **INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS EM ARGAMASSAS**

DULCE MARGARIDA GRAÇA RIBEIRO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES**

Orientador: Doutora Maria do Rosário Santos Oliveira

Coorientador: Eng<sup>a</sup> Maria da Luz do Vale Garcia

**OUTUBRO 2019**



# ÍNDICE GERAL

Índice Geral .....	iii
Resumo .....	v
Abstract .....	vii
Agradecimentos .....	ix
Índice de Texto .....	xi
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Quadros .....	xix
Abreviaturas .....	xxi
Capítulo 1    Introdução .....	1
Capítulo 2    Estado de Arte .....	5
Capítulo 3    Análise Experimental .....	19
Capítulo 4    Análise de resultados.....	43
Capítulo 5    Considerações finais .....	69
Referências Bibliográficas.....	75
Anexo I- ENSAIO da Absorção de água.....	81
Anexo II - Ficha técnica do Cimento .....	83
Anexo III - Ficha técnica do Adjuvante .....	85





## RESUMO

No dia a dia é quase indispensável a utilização de produtos plásticos, existe uma crescente dependência dos mesmos, visto que, possuem propriedades favoráveis em relação a outros materiais, principalmente a sua resistência e a sua vida útil elevada.

Em contrapartida essas características, que em termos industriais são as mais vantajosas e requisitadas, no que toca ao tratamento dos resíduos plásticos gera muitas dificuldades, visto não se tratar de um produto biodegradável, a sua decomposição é muito lenta. Desta forma, provoca um aumento excessivo de resíduos, sendo que, para evitar esse excesso deve-se inicialmente reduzir a utilização de plásticos, posteriormente reutilizá-los de modo a adiar o tratamento de resíduos, e por fim deve-se reciclar criando uma nova matéria prima, diminuindo a quantidade de resíduos em aterro.

A indústria da construção, sendo um dos sectores que mais utiliza produtos plástico e consecutivamente gera imensos resíduos, é um bom ponto de partida para a diminuição e o reaproveitamento dos mesmos. A presente dissertação aborda a reutilização dos resíduos plásticos na construção, como agregados parciais na composição de argamassas. São utilizados quatro resíduos, PET (Politereftalato de Etileno) amarelo e natural, PVC (Policloreto de vinila) e EVA (Etileno Acetato de Vinila).

Na sequência laboratorial foram realizados ensaios em duas etapas dividindo-se em duas campanhas experimentais. Na primeira campanha avaliou-se as argamassas com os resíduos numa configuração primária, proveniente do tratamento prévio dos resíduos, na qual a sua transformação final possui uma forma em flocos, no caso do PET amarelo e PVC, e granular, no caso dos restantes resíduos. Foram estudadas algumas características das argamassas com incorporação de 0, 10 e 20% de resíduos com o objetivo de comparar as propriedades destas com uma argamassa de controlo, identificando a percentagem que foi mais satisfatória.

Na segunda campanha, além da utilização dos resíduos com a configuração primaria, utilizou-se uma configuração secundaria, obtida após a moagem dos resíduos primários num moinho de facas com 0 e 7.5% de resíduos.

Os resultados atingidos, demonstram que em certas propriedades das argamassas, como a resistência à compressão, à flexão, e ao arrancamento, esta incorporação de resíduos plásticos não é tão favorável. Em contrapartida os valores obtidos nos ensaios da resistência térmica e da absorção por capilaridade foram benéficos.

**Palavras-chave:** Resíduos plásticos, PET, PVC, EVA, Argamassas, Resistências mecânicas, Isolamento térmico.



## **ABSTRACT**

The use of plastic products is almost indispensable in everyday life, there is a growing dependence on them, since they have favorable properties in relation to other materials, especially their strength and long service life.

On the other hand, these characteristics, which in industrial terms are the most advantageous and required, as regards the treatment of plastic waste generates many difficulties, since it is not a biodegradable product, its decomposition is very slow. In this way, it causes an excessive increase of waste, and to avoid this excess one should initially reduce the use of plastics, later reuse them to postpone the waste treatment, and finally recycle creating a new one. raw material, reducing the amount of landfill waste.

The construction industry, being one of the sectors that most uses plastic products and consecutively generates huge waste, is a good starting point for their reduction and reuse. This dissertation addresses the reuse of plastic waste in construction as partial aggregates in the composition of mortars. Four wastes are used, yellow and natural PET (poly ethylene terephthalate)), PVC (Polyvinyl Chloride) and EVA (Ethylene Vinyl Acetate).

In the laboratory sequence, two-step tests were performed and divided into two experimental campaigns. In the first campaign the mortars were evaluated with the residues in a primary configuration, from the previous treatment of the residues, in which their final transformation has a flake form, in the case of yellow PET and PVC, and granular, in the case of the remaining residues. . Some characteristics of mortars with incorporation of 0, 10 and 20% of residues were studied in order to compare their properties with a control mortar, identifying the percentage that was more satisfactory.

In the second campaign, in addition to using the waste with the primary configuration, a secondary configuration was obtained, obtained after grinding the primary waste in a knife mill with 0 and 7.5% of waste.

The results show that in certain mortar properties, such as compressive, flexural, and tear strength, this incorporation of plastic waste is not as favorable. On the other hand, the values obtained in the thermal resistance and capillary absorption tests were beneficial.

**Keywords:** Plastic waste, PET, PVC, EVA, Mortars, Mechanical resistances, Thermal insulation.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a toda a minha família pelo apoio prestado na conclusão deste trabalho apesar de todas adversidades existentes ao longo de todo o percurso académico.

À minha coorientadora Maria da Luz Garcia por toda a disponibilidade dispensada para me auxiliar em todo o meu trabalho e pela ajuda que proporcionou todo o desenvolvimento laboratorial. Pela sua incansável orientação e apoio fundamental para atingir os objetivos na conquista desta fase.

Agradeço também a minha orientadora Maria do Rosário por todo o apoio prestado e conselhos sábios que servirão para a próxima etapa do meu percurso profissional.

A todos os meus professores que me ajudaram na aquisição de conhecimentos, permitindo uma evolução a nível académico e futuramente profissional.

Ao Sr. Daniel Morais, pela disponibilidade dos materiais importantes que serviram para a conclusão deste estudo, que sem os mesmos seria impossível esta concretização.

Um grande obrigado a EUROMODAL SA, em particular à Diretora do Laboratório Eng<sup>a</sup> Ana Gomes pela ajuda fundamental nos ensaios experimentais da resistência à flexão e à compressão.

Por fim agradeço em especial à minha melhor amiga, Sara Ernestina Pereira de Sousa, por todo o apoio incondicional nesta etapa, que sempre me acompanhou e me ajudou em todos os momentos bons e menos bons, na conquista de todos os meus objetivos, motivando-me sempre a nunca desistir. Muito obrigada.



## ÍNDICE DE TEXTO

Capítulo 1	Introdução .....	1
1.1	Enquadramento .....	1
1.2	Objetivos .....	2
1.3	Organização da Dissertação .....	2
Capítulo 2	Estado de Arte .....	5
2.1	Introdução .....	5
2.2	Polímeros .....	6
2.2.1	Classificação dos polímeros .....	6
2.2.2	Reciclagem de polímeros .....	8
2.2.3	Classificação dos resíduos plásticos .....	9
2.3	Resíduos plásticos .....	11
2.3.1	Introdução .....	11
2.3.2	Origem dos resíduos plásticos estudados .....	11
2.3.3	Resíduo de PET .....	12
2.3.4	Resíduo PVC .....	13
2.3.5	Resíduo EVA .....	14
2.4	Argamassas com substituição parcial de agregado por resíduos plásticos .....	15
2.4.1	Argamassa com agregados de PET .....	16
2.4.2	Argamassa com agregados de PVC .....	17
2.4.3	Argamassa com agregados de EVA .....	17
Capítulo 3	Análise Experimental .....	19



3.1	Introdução.....	19
3.2	Constituintes das argamassas .....	19
3.2.1	Cimento.....	19
3.2.2	Água .....	20
3.2.3	Adjuvante.....	21
3.2.4	Areia.....	22
3.2.5	Agregados de Resíduos plásticos.....	25
3.3	Composição e produção das argamassas .....	28
3.4	Preparação e cura dos provetes .....	30
3.5	Ensaio no estado fresco .....	32
3.5.1	Trabalhabilidade da argamassa – Ensaio da mesa de espalhamento .....	32
3.5.2	Massa volúmica .....	33
3.6	Ensaio no estado endurecido .....	33
3.6.1	Massa volúmica .....	33
3.6.2	Ensaio de resistência à flexão e compressão.....	34
3.6.3	Ensaio de absorção da água por capilaridade .....	36
3.6.4	Ensaio de Arrancamento (Pull-Off).....	38
3.6.5	Determinação do coeficiente de condutividade térmica .....	41
Capítulo 4	Análise de resultados.....	43
4.1	Introdução.....	43
4.2	Caracterização dos Agregados .....	43
4.2.1	Análise granulométrica .....	43
4.2.2	Baridade.....	52
4.3	Argamassas no estado fresco.....	53
4.3.1	Trabalhabilidade .....	53
4.3.2	Massa volúmica .....	56
4.4	Argamassas no estado endurecido .....	57

4.4.1	Massa volúmica .....	57
4.4.2	Resistência à flexão e à compressão .....	58
4.4.3	Absorção de água por capilaridade .....	63
4.4.4	Ensaio de Arrancamento (Pull-Off).....	66
4.4.5	Coeficiente de condutibilidade térmica .....	68
Capítulo 5	Considerações finais .....	69
5.1	Conclusão.....	69
5.2	Desenvolvimentos futuros.....	74
	Referências Bibliográficas.....	75
	Anexo I- ENSAIO da Absorção de água.....	81
	Anexo II - Ficha técnica do Cimento .....	83
	Anexo III - Ficha técnica do Adjuvante .....	85



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Identificação dos plásticos (Fonte: <a href="http://www.plastval.pt">http://www.plastval.pt</a> – Data de acesso: 2/9/2019) .....	6
Figura 2.2 - Distribuição da produção do plástico (Fonte: APA) .....	8
Figura 2.3 - Tratamento de resíduos de plástico (Fonte: APA) .....	8
Figura 2.4 - Etapas de tratamento do resíduo PET.....	12
Figura 2.5 - Aplicação de garrafas de PET na construção civil (fonte: Engenharia Consciente).....	13
Figura 2.6 - Resíduo de PVC (persianas).....	14
Figura 2.7 - resíduo de PVC moído .....	14
Figura 2.8 - EVA embalada .....	15
Figura 3.1 - Amostra das Areia Utilizadas.....	23
Figura 3.2 - Equipamento usado na análise granulométrica.....	24
Figura 3.3 - Ensaio da Baridade. ....	25
Figura 3.4 - Agregados de resíduos plásticos sem transformação mecânica.....	27
Figura 3.5 - Agregados de resíduos plásticos moídos. ....	27
Figura 3.6 - Equipamento para confeção da argamassa. ....	29
Figura 3.7 - Procedimento das confeções da argamassa. ....	29
Figura 3.8 - Mistura dos resíduos plásticos com o agregado natural.....	30
Figura 3.9 - Molde de argamassa. ....	31
Figura 3.10 - Colocação da argamassa no molde (Esq); Remoção do excesso de argamassa (Dir) .....	31
Figura 3.11 - Compactador .....	31
Figura 3.12 - Recipiente com provetes submersos em água. ....	32
Figura 3.13 - Procedimentos da realização do ensaio da trabalhabilidade; 1- retirada do molde na vertical; 2- aplicação de 15 pancadas; 3- medição do diâmetro em 3 direções;.....	32

Figura 3.14 - Ensaio a flexão antes e após a rotura respetivamente. ....	35
Figura 3.15 - Ensaio a compressão antes e após a rotura respetivamente.....	36
Figura 3.16 - Provetes em água para o ensaio da capilaridade.....	37
Figura 3.17 - Operação de secagem e pesagem dos provetes. ....	37
Figura 3.18 - Preparação do tijolo com argamassa .....	39
Figura 3.19 - Preparação da superfície para o ensaio “PULL OFF” .....	39
Figura 3.20 - Aparelho Pull-Off 16KN .....	39
Figura 3.21 - Encaixe da garra ao parafuso de cabeça esférica agregado a pastilha. ....	39
Figura 3.22 - Processo de ensaio de arrancamento. ....	40
Figura 3.23 - Tipos de rotura (26) .....	40
Figura 3.24 - Ensaio da condutividade térmica. ....	41
Figura 4.1 - Curvas granulométricas das areias AF, AG e areia de mistura (80%AF+20%AG) .....	44
Figura 4.2 - Curvas Granulométricas dos Agregados.....	47
Figura 4.3 - Curvas Granulométricas dos Agregados moídos.....	51
Figura 4.4 - Baridade dos Agregados.....	53
Figura 4.6 - Diâmetro de Espalhamento da 1ª campanha. ....	55
Figura 4.7 - Diâmetro de Espalhamento da 2ª campanha. ....	55
Figura 4.8 - Argamassa AC1 – Espalhamento .....	55
Figura 4.5 - Massa volúmica da 1ª e 2ª campanhas.....	57
Figura 4.9 - Massa volúmica da 1ª e 2ª campanhas.....	58
Figura 4.10 - Resultados da resistência à flexão e à compressão da 1ª Campanha, respetivamente. ....	61
Figura 4.11 - Provetes com PET Amarelo após o ensaio da flexão.....	61
Figura 4.12 - Resultados da resistência à flexão e à compressão da 2ª Campanha, respetivamente. ....	62
Figura 4.13 - Coeficientes de absorção das argamassas da 1ª e da 2ª campanha experimental respetivamente. ....	65
Figura 4.14 - Valores médios da tensão de Aderência .....	66
Figura 4.15 - Tipo de rotura no ensaio .....	67

Figura 4.16 - Valores médios da condutibilidade térmica.....	68
--	----



## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Exemplos de polímeros existentes no nosso quotidiano (Fonte: Marques, Luísa) .....	7
Quadro 2.2 - Extrato da tabela “LER” .....	10
Quadro 2.3 - Principais propriedades do PET (Fonte: CES Edupack, 2016).....	12
Quadro 3.1 - Cimento CEM I 42,5 R.....	20
Quadro 3.2 - Composição química do Licor Negro.....	21
Quadro 3.3 - Características essenciais de WOERMENT FM 735.....	22
Quadro 3.4 - Composição das argamassas.....	28
Quadro 4.1 - Resultados da análise granulométrica das areias. ....	43
Quadro 4.2 - Grau de finura dos Agregados.....	44
Quadro 4.3 - Análise granulométrica dos resíduos sem transformação.....	45
Quadro 4.4 - Análise granulométrica dos resíduos moídos. ....	49
Quadro 4.5 - Análise da baridade das areias e resíduos. ....	52
Quadro 4.6 - Resultados da trabalhabilidade da 1ª campanha. ....	54
Quadro 4.7 - Resultados da trabalhabilidade da 2ª campanha. ....	54
Quadro 4.8 - Resultados do ensaio da massa volúmica da 1ª campanha.....	56
Quadro 4.9 - Resultados do ensaio da massa volúmica da 2ª campanha.....	56
Quadro 4.10 - Resultados do ensaio da massa volúmica da 1ª e 2ª campanhas.....	58
Quadro 4.11 - Resultados dos ensaios de compressão e flexão da 1ª campanha. ....	59
Quadro 4.12 - Resultados dos ensaios de compressão e flexão da 2ª campanha.....	60
Quadro 4.13 - Resultado do ensaio de absorção de água da 1ª campanha. ....	63
Quadro 4.14 - Resultado do ensaio de absorção de água da 2ª campanha. ....	64
Quadro 4.15 - Resultados do ensaio de arrancamento (Pull Off). ....	66



## ÍNDICE DE TABELAS

Quadro 4.16 - Resultados obtidos no ensaio da condutividade térmica. ....	68
Quadro 5.1 - Quadro síntese dos resultados.....	71

## **ABREVIATURAS**

AC1 - Argamassa de controlo 1ª Campanha

AC2 - Argamassa de controlo 2ª Campanha

APET10 - Argamassa com 10% de PET

APET20 - Argamassa com 20% de PET

APET7.5 - Argamassa com 7.5% de PET

APETM7.5 - Argamassa com 7.5% de PET moído

APN10 - Argamassa com 10% de PET natural

APN7.5 - Argamassa com 7.5% de PET natural

APNM7.5 - Argamassa com 7.5% de PET natural moído

AEVA10 - Argamassa com 10% de EVA

AEVA7.5 - Argamassa com 7.5% de EVA

AEVAM7.5 - Argamassa com 7.5% de EVA moído

APVC10 - Argamassa com 10% de PVC

EVA - Etileno Acetato de Vinila

PVC - Policloreto de vinila

PET - Politereftalato de Etileno



# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 ENQUADRAMENTO

A produção de resíduos plásticos é superior à sua reutilização, em 2018 foram produzidos aproximadamente 4.94 milhões de tonelada destes resíduos, ou seja, 1.38 kg por habitante, e a maior parte destes resíduos não são reutilizados nem valorizados, colocando o meio ambiente em perigo. Torna-se assim importante promover a reciclagem e a reutilização dos resíduos plásticos, segundo PERSU II uma das estratégias principais é Reduzir, Reutilizar e Reciclar (1) (2).

Os resíduos plásticos são os que mais contribuem para a degradação da saúde humana e do meio ambiente, pois demoram muitos anos a degradar-se. Apesar dos polímeros fazerem parte de mais de metade do nosso dia a dia, e de influenciarem a vida da sociedade, estes poluem as nossas ruas e os nossos oceanos.

A impossibilidade de reduzir a quantidade de plásticos utilizados aliada à sua prolongada e prejudicial decomposição, torna a solução de deposição destes em aterro inviável, sendo o melhor processo de tratamento destes resíduos a sua reutilização e reciclagem.

Este trabalho tem como princípio a procura de soluções para o aproveitamento dos resíduos plásticos na construção civil, particularmente em argamassas.

As argamassas são utilizadas em grandes quantidades na construção e em várias funções, sejam elas revestimento ou assentamento, entre outras, o que exige que possuam as características necessárias para um bom desempenho, tanto ao nível de proteções contra ações climáticas, ambientais e mecânicas, como ao nível de durabilidade e até mesmo de salubridade e estética. Considera-se então fundamental estudar, aprofundar e demonstrar o desempenho das argamassas com a mistura de agregados reciclados (2).

Ao longo deste trabalho, pretende-se um estudo mais elaborado, procedendo-se a pesquisas sobre os resíduos plásticos, determinando quais as suas características e suas influências na argamassa, como substituto parcial dos agregados. O resíduo mais estudado neste trabalho será o PET o qual será comparado, entre várias percentagens, com outros tipos de resíduos, nomeadamente PVC e EVA.

## **1.2 OBJETIVOS**

Como principal objetivo, este trabalho tenta promover a reciclagem e reutilização de resíduos plásticos para evitar e diminuir a destruição da saúde e do ambiente. O estabelecimento ISEP, aderiu à proposta da Resolução do Conselho de Ministros n.º 51-2017 de 19 de Abril e Resolução do Conselho de Ministros n.º 141-2018, de 26 de Outubro, iniciando a ação de acabar com as garrafas de plástico em todo o instituto, eram compradas 120mil garrafas por ano. Esta medida surgiu da campanha “Agir Local, Pensar Global”, iniciativa desenvolvida desde fevereiro pelo instituto em parceria com a LIPOR (Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Porto) e Porto Ambiente (3).

Contudo, este trabalho desenrola-se numa estratégia de aproveitamento de polímeros estudando a viabilidade destes na incorporação em argamassas como substituição parcial do agregado natural e investigar em que circunstâncias as dimensões e forma destes agregados influenciam as suas características.

Foram utilizadas argamassas com diferentes taxas de incorporação, 7.5%, 10% e 20%, diferentes tipos de polímeros, PET, PVC, PET NATURAL e EVA e diferentes formas, flocos e grãos. Procedeu-se então a um trabalho experimental, onde detalhadamente se analisou os resultados obtidos, com a finalidade de constatar se é viável a reciclagem deste material como incorporação parcial dos agregados.

## **1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação está organizada e dividida em seis capítulos.

Capítulo 1 – Este capítulo é composto por uma introdução, os objetivos e a organização da dissertação:

Capítulo 2 – Neste capítulo apresenta-se uma abordagem resumida do que são os polímeros e como os identificar, fala dos resíduos utilizados na análise experimental, assim como a sua incorporação nas argamassas.

Capítulo 3 – Este capítulo é dedicado a duas campanhas experimentais que foram efetuadas, desde a descrição dos constituintes das argamassas, à preparação e produção dos provetes e à descrição procedimentos dos ensaios.

Capítulo 4 – Neste capítulo abordam-se os resultados obtidos nas duas campanhas experimentais, comparam-se as argamassas com incorporação de resíduos com as argamassas de controlo, os diferentes tipos de resíduos, e também se comparam com os resultados de estudos já elaborados.

Capítulo 5 – Este capítulo é conclusão do resultado dos ensaios assim como a apresentação de propostas de trabalhos futuros.

Por fim temos as referências bibliográficas e os anexos com todos os valores detalhados de todos os ensaios efetuados assim como algumas fichas técnicas.



## Capítulo 2

### ESTADO DE ARTE

#### 2.1 INTRODUÇÃO

A palavra “plástico” tem origem do grego *plastikós* e significa adequado à moldagem. Os plásticos são materiais constituídos por longas cadeias de moléculas chamadas "polímeros", e são obtidos através de derivados de produtos orgânicos, como o petróleo, carvão, celulose, gás natural e sal.

O material plástico é uma das matérias-primas mais utilizada pela humanidade no seu cotidiano, podendo ser aplicado em: utensílios domésticos, brinquedos, peças de automóveis, peças de equipamentos eletrônicos, calçados, embalagens, pisos, revestimentos e, até mesmo, próteses que substituem partes de nossos corpos. Generalizando, este material é utilizado em todo o mundo numa grande e crescente gama de aplicações e áreas como a construção, indústria, agricultura, saúde, etc.

O plástico distingue-se dos outros materiais, devido à sua versatilidade de aplicação, ao seu processo de produção, e pelas suas propriedades de baixa densidade, criando um produto final mais leve, possui, ainda, uma elevada resistência à corrosão, a muitas substâncias que atacam outros materiais. Os materiais plásticos são fáceis de moldar pelo efeito de calor ou pressão, o que permite a integração de materiais diferentes no mercado, em formatos complexos, formas, e funções, sendo alguns transparentes, tornando-os bons dispositivos óticos.

Atualmente a humanidade debate-se com um grande problema, tratando-se que a maioria dos plásticos não são biodegradáveis. O aumento da produção de embalagens de plástico deu origem ao aparecimento de depósitos de resíduos de embalagens de plásticos em linhas de água, impedindo a circulação habitual da água, além disso, verifica-se o aparecimento de micro plásticos nas linhas de água que acabam por fluir para os oceanos. Esse aumento gerou consequentemente depósitos de aterros de forma não controlada no solo, originando deste modo graves problemas ambientais e de saúde (1).

Os diversos tipos de plásticos aparentemente são muito semelhantes, contudo, um determinado tipo de plástico com ligeiras modificações pode ter diversas aplicações, assim como, numa mesma aplicação podem ser utilizados diversos tipos de plásticos.



Em Portugal, embora não seja obrigatório a marcação das embalagens, existem normas, como a ASTM D7611 e Decisão 97/129/CE para a sua numeração, e abreviaturas, em associação com os símbolos sugeridos pela Society of Plastics Industry (SPI), para identificar os diferentes tipos de plásticos (2) (3).

A identificação é obtida com números de um a sete e com um símbolo em forma de triângulo, RIC (Resin Identification Code), correspondendo a numeração aos seguintes materiais: 1) politereftalato de etileno (PET); 2) polietileno de alta densidade (HDPE); 3) cloreto de polivinilo (V); 4) polietileno de baixa densidade (LDPE); 5) polipropileno (PP); 6) poliestireno (PS); e 7) outros materiais plásticos.

A utilização desta nomenclatura observa-se ser extremamente importante, visto que, é necessário que os diferentes tipos de plásticos passem por uma triagem, favorecendo e auxiliando na garantia de qualidade da reciclagem dos mesmos (4).

Símbolo	Tipo de Plástico	Exemplo de Aplicação
	PET (Politereftalato de Etileno)	Garrafas de água, refrigerantes
	PEAD (Polietileno de Alta Densidade)	Higiene, detergentes
	PVC (Policloreto de Vinilo)	Tubos, detergentes
	PEBD (Polietileno de Baixa Densidade)	Sacos, filme de paletes
	PP (Polipropileno)	Caixas de CD's
	PS (Poliestireno)	Iogurte, caixa de ovos
	Outros	

Figura 2.1 - Identificação dos plásticos (Fonte: <http://www.plastval.pt> – Data de acesso: 2/9/2019)

Para além da identificação acima mencionada, estes também podem ser identificados através da densidade e da queima do material, isto é, existem características como o odor dos vapores da queima, o aspeto e cor da chama entre outras, que nos fornece a informação do tipo de polímero (5).

## 2.2 POLÍMEROS

### 2.2.1 Classificação dos polímeros

Em definição química, os plásticos são polímeros, vem da palavra grega *polymerés* “constituído por várias partes” é um material constituído por moléculas de grandes dimensões, compostas por monómeros (pequenas moléculas) entre 1000 a 1.000.000 em cadeia.

Estes podem ser classificados quanto à sua origem, como natural ou sintético. O polímero natural forma-se na natureza, como a borracha, celulose, proteínas, etc. Enquanto, os polímeros sintéticos são todos aqueles que sofreram alterações e transformações, como o PP, PVC, PS, etc.

Os polímeros sintéticos surgiram de um processo de interesse comercial, quando o valor do marfim, usado para produzir bolas de bilhar, tornou-se excessivo, foi necessário recorrer a um substituto, em 1870, John Wesley Hyatt descobriu o celuloide, que não só serviu para substituir o marfim na produção de bolas de bilhar, como também passou a ser usado em filmes fotográfico, dentaduras, etc.

Diante disto, encontrou-se uma vasta variedade de polímeros sintéticos, que podem ser divididos em três grupos, como: Polímeros de adição, Polímeros de condensação ou de eliminação e Polímeros de rearranjo.

Tanto os polímeros naturais como os artificiais podem ser classificados em termoplásticos e termorígidos ou termofixos. Termoplástico significa que o seu formato, com o calor, pode ser fundido e moldado repetidas vezes, pois apenas degrada parcialmente o polímero, esta característica pode ser aproveitada para a produção de novos materiais, tais como, o poliestireno, polietileno, PVC, etc. Os polímeros termorígidos ou termofixos são reconhecidos por não se moldarem, e com altas temperaturas estes degradam-se antes da sua fusão, provocando uma reciclagem mais complicada (9).

Quadro 2.1 - Exemplos de polímeros existentes no nosso quotidiano (Fonte: Marques, Luísa)

<b>Polímero</b>	<b>Aplicações</b>
<b>Poliestireno - Esferovite</b>	Copos caixa (CD's cassetes e outras)
<b>Polietileno</b>	Baldes, sacos do lixo, sacos de embalagens
<b>Polipropileno</b>	Cadeiras, para-choques de automóveis
<b>Poliamida - nylon</b>	Fibras, cordas, roupas
<b>PVC - Policloreto de Vinilo</b>	Tubos
<b>Teflon</b>	Revestimento interno de painéis
<b>Borracha natural</b>	Pneus, câmaras de ar...
<b>Amido</b>	alimentos
<b>Celulose</b>	Papel, algodão
<b>Poliuretano</b>	Espumas rígidas e flexíveis, isolantes

### 2.2.2 Reciclagem de polímeros

A palavra reciclagem foi introduzida no vocabulário internacional no final da década dos anos 80, deriva da palavra reciclar, que significa Re (repetir) + Cycle (ciclo) (6). Reciclagem, é o processo de transformação de matérias, que são consideradas resíduos, em matérias-primas para novos materiais.

A reciclagem de polímeros é, hoje em dia, aceite como uma alternativa sustentável para minimizar o impacto ambiental negativo destes materiais aquando, após a sua utilização, se transformam em resíduos (7).

Segundo um relatório, de 2018 da ONU, todos os anos são produzidos mais de 400 milhões de toneladas de plástico no mundo e apenas 9% dos resíduos produzidos são reciclados. O mesmo relatório chama a atenção para o seguinte: *“Se os padrões de consumo e gestão de resíduos continuarem, até 2050 haverá cerca de 12.000 milhões de sacos de plástico em aterros e no meio ambiente”*. Além disso, relata que a poluição dos oceanos constitui um dos maiores impactos no ambiente, acrescentando que, se não se mudar a forma de produção e utilização do plástico, *“haverá mais plástico que peixes nos nossos oceanos”* (8).

De acordo com a agência portuguesa do ambiente, *“Por ano, a Europa produz cerca de 58 milhões de toneladas de plástico e Portugal contribuiu com quase 370 toneladas, uma média de 31kg por pessoa, valor acima da média europeia”*, dos quais 20% são provenientes da indústria da construção (Figura 2.2 ) (9).



Figura 2.2 - Distribuição da produção do plástico (Fonte: APA)



Figura 2.3 - Tratamento de resíduos de plástico (Fonte: APA)

Por sua vez, a comissão do parlamento europeu numa comunicação, em janeiro de 2018, mencionou que a *“produção de plásticos e a incineração de resíduos de plástico produzem, a nível mundial, cerca de 400 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano”*. Isto é, se aumentarmos a possibilidade de reciclagem do plástico,

estaremos a contribuir para a diminuição da extração de petróleo e das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido de nitrogênio (NO) e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) (10) (14).

Atualmente, no tratamento dos resíduos sólidos plásticos, em primeiro lugar tenta-se fazer uma reutilização e posteriormente uma reciclagem, para isso, começa-se por uma triagem e redução, considerando em primeiro lugar uma reciclagem mecânica do material e só depois considera-se a reciclagem química. A incineração deve ser evitada, pois a queima de alguns plásticos, como sejam os halogenados (PVC), libertam gases tóxicos. A deposição em aterro é defensivamente a última opção por razões ambientais, como já abordado (11) .

### 2.2.3 Classificação dos resíduos plásticos

Desde 1 de junho de 2015 que os Estados Membros da EU classificam os resíduos plásticos segundo “A Lista Europeia de Resíduos”, LER, aprovada pela Decisão 2014/955/UE, da Comissão, de 18 de dezembro e pelo Regulamento UE n.º 1357/2014, de 18 de dezembro, que publica as características de perigosidade dos resíduos (16).

A lista LER é uma lista harmonizada de resíduos, para os quais é atribuída uma catalogação com base num código de seis dígitos, sendo que os primeiros dois dizem respeito ao capítulo, os segundos ao subcapítulo e os últimos dizem respeito a um resíduo específico, a título de exemplo:

Código 07 02 13: resíduos de plástico, que pertence ao subcapítulo 07 02, que por sua vez pertence ao capítulo 07

Estes códigos de 6 dígitos designam-se por entrada, ou seja, cada entrada representa uma substância ou objeto que os detentores têm intenção ou obrigação de se desfazer do mesmo.

Segundo o Regulamento UE n.º 1357/2014, “As 842 entradas da lista LER dizem respeito a três tipologias de entradas diferentes:

- Entradas absolutas de resíduos perigosos (Abs.RP) – dizem respeito a resíduos que são sempre classificados como perigosos;
- Entradas absolutas de resíduos não perigosos (Abs.RNP) – dizem respeito a resíduos que são sempre classificados como não perigosos;
- Entradas espelho – dizem respeito a resíduos que poderão ser classificados como resíduos perigosos ou não perigosos (Esp.RP e Esp.RNP, respetivamente), dependendo da perigosidade que apresentam.

Com base nos documentos referidos, apresenta-se um Quadro 2.2 de resíduos plásticos identificados no presente trabalho.

Quadro 2.2 - Extrato da tabela “LER”

código	Descrição	Tipo de entrada
<b>07</b>	<b>RESÍDUOS DE PROCESSOS QUÍMICOS ORGÂNICOS</b>	
07 02	Resíduos do FFDU de plásticos, borracha e fibras sintéticas	
07 02 13	Resíduos de plásticos	Abs.RNP
<b>12</b>	<b>RESÍDUOS DA MOLDAGEM E DO TRATAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DE SUPERFÍCIE DE METAIS E PLÁSTICOS</b>	
12 01	Resíduos da moldagem e do tratamento físico e mecânico de superfície de metais e plásticos	
12 01 05	Aparas de matérias plásticas	Abs.RNP
<b>15</b>	<b>RESÍDUOS DE EMBALAGENS; ABSORVENTES, PANOS DE LIMPEZA, MATERIAIS FILTRANTES E VESTUÁRIO DE PROTECÇÃO NÃO ANTERIORMENTE ESPECIFICADOS</b>	
15 01	Embalagens (incluindo resíduos urbanos e equiparados de embalagens, recolhidos separadamente)	
15 01 02	Embalagens de plástico	Abs.RNP
<b>16</b>	<b>RESÍDUOS NÃO ESPECIFICADOS EM OUTROS CAPÍTULOS DESTA LISTA</b>	
16 01	Veículos em fim de vida de diferentes meios de transporte (incluindo máquinas todo o terreno) e resíduos do desmantelamento de veículos em fim de vida e da manutenção de veículos (exceto 13, 14, 16 06 e 16 08)	
16 01 19	Plástico	Abs.RNP
<b>17</b>	<b>RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (INCLUINDO SOLOS ESCAVADOS DE LOCAIS CONTAMINADOS)</b>	
17 02	Madeira, vidro e plástico	
17 02 03	Plástico	Esp.RNP
<b>19</b>	<b>RESÍDUOS DE INSTALAÇÕES DE GESTÃO DE RESÍDUOS, DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS E DA PREPARAÇÃO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO E ÁGUA PARA CONSUMO INDUSTRIAL</b>	
19 12	Resíduos do tratamento mecânico de resíduos (por exemplo, triagem, trituração, compactação, peletização) não anteriormente especificados	
19 12 04	Plástico e borracha	Abs.RNP
<b>20</b>	<b>RESÍDUOS URBANOS E EQUIPARADOS (RESÍDUOS DOMÉSTICOS, DO COMÉRCIO, INDÚSTRIA E SERVIÇOS), INCLUINDO AS FRAÇÕES RECOLHIDAS SELECTIVAMENTE</b>	
20 01	Frações recolhidas seletivamente (exceto 15 01)	
20 01 39	Plásticos	Abs.RNP

## **2.3 RESÍDUOS PLÁSTICOS**

### **2.3.1 Introdução**

Este estudo incide numa reflexão do problema atual dos resíduos plásticos, nomeadamente o PET, PVC e EVA. De modo a beneficiar da aplicação deste tipo de resíduo, reduzindo a adversidade que este provoca no ecossistema, propõe-se a incorporação de resíduos de plástico como substituição parcial dos agregados de origem natural em argamassas. Trata-se de um processo alternativo que permite menos resíduos e posteriormente otimizar a qualidade da construção.

O processo construtivo ainda está em desenvolvimento, principalmente para alguns polímeros. O mais usual e estudado com mais frequência é o PET e o PVC. O EVA também foi alvo de estudo apesar de ser escasso o uso deste polímero.

De seguida apresenta-se uma breve abordagem da origem destes resíduos plásticos, assim como, uma revisão sucinta de alguns casos que foram estudados e conclusões que foram tiradas, para melhor se entender o que provoca este tipo de resíduo na argamassa.

### **2.3.2 Origem dos resíduos plásticos estudados**

A recolha dos resíduos estudados foi realizada na empresa Daniel Morais, S.A., localizada em Serzedo, Vila Nova de Gaia, foi fundada em 1982. Este tipo de empresa tem desempenhado um papel decisivo no processo de reciclagem e reaproveitamento de material plástico, sobretudo pós-industrial, contribuindo deste modo para a preservação do ambiente ao permitir a reutilização do material plástico.

A empresa Daniel Morais, S.A., foi uma das primeiras em Portugal a serem recetores de material pós-consumidor (redes de pesca, computadores, material plástico proveniente do desmantelamento de automóveis, de publicidade, mobiliário, etc.) e a comprar material sobretudo pós-industrial (da indústria automóvel, têxtil, mobiliário, eletrónica, etc.). Depois separam, destroçam e/ou moem, o qual em seguida é fundido, resfriado, granulado e transformado em matéria-prima.

Da empresa obteve-se dois resíduos que apenas sofreram uma transformação mecânica através de moinhos de facas provenientes da indústria automóvel e da construção civil (persianas), respetivamente as partículas de PET amarelo e partículas de PVC. Além destes, recebeu-se dois resíduos que, além de transformação mecânica, sofreram transformação térmica, nomeadamente designados por PET natural e EVA sob a forma de grânulos.

### 2.3.3 Resíduo de PET

O PET é formado através da reação simultânea de dois monómeros (etilenoglicol e ácido tereftálico), ambos derivados do petróleo.

O resíduo PET é o polímero mais valorizado na reciclagem, devido ser fácil de reciclar, apresentar uma boa resistência mecânica, térmica e química, e apresenta boas propriedades de barreira e resistência ao choque ( ver Quadro 2.3) superior aos outros polímeros, é um termoplástico resistente e 100% reciclável cuja composição química não produz nenhum produto tóxico, sendo formada apenas de carbono, hidrogênio e oxigênio. Sendo por isso a sua aplicação muito diversa.

Quadro 2.3 - Principais propriedades do PET (Fonte: CES Edupack, 2016)

Densidade	1,29e3 - 1,4e3 kg/m <sup>3</sup>
Composição	(CO-(C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> )-CO-O-(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> -O) <sub>n</sub>
Preço	1,33 - 1,62 Eur/kg
<b>Propriedades Mecânicas</b>	
Módulo de Young	2,76 - 4,14 GPa
Módulo ao corte	0,994 - 1,49 GPa
Coefficiente de Poisson	0,381 - 0,396
Tensão limite de elasticidade	56,5 - 62,3 MPa
Tensão de rotura	48,3 - 72,4 MPa
Resistência à compressão	19,7 - 31,9 MPa
Extensão após rotura	30 - 300 %
Dureza Vickers	17 - 18,7 HV
Resistência à fadiga, 10 <sup>7</sup> ciclos	19,3 - 29 MPa
Tenacidade à fratura	4,5 - 5,5 MPa.m <sup>0.5</sup>
<b>Propriedades Térmicas</b>	
Ponto de fusão	212 - 265 °C
Temperatura de transição vítrea	67,9 - 79,9 °C
Temperatura máxima de serviço	66,9 - 86,9 °C
Temperatura mínima de serviço	-123 - -73,2 °C
Temperatura de processamento	225-350 °C
Temperatura do molde	20-100 °C
Condutividade térmica	0,138 - 0,151 W/m. °C
Calor específico	1,42e3 - 1,47e3 J/kg. °C
<b>Propriedades Eco</b>	
Energia incorporada, produção primária	80,9 - 89,5 MJ/Kg
Pegada CO <sub>2</sub> , produção primária	3,76 - 4,15 kg/kg
Reciclável	sim



Figura 2.4 - Etapas de tratamento do resíduo PET

O resíduo de PET obtido a partir de embalagens de líquidos é o material mais utilizado para os estudos no ramo da construção civil, em modo flocos, em grão e até mesmo inteira (Figura 2.5). Uma das vantagens é a diminuição da matéria prima não renovável e a redução dos custos da sua produção, sendo que as garrafas PET é um material descartável com regularidade.



Figura 2.5 - Aplicação de garrafas de PET na construção civil (fonte: Engenharia Consciente)

Resumidamente o resíduo de PET é aplicado na construção civil sob diversas formas, como substituição de brita na fabricação do betão, substituição da areia na produção de argamassas e betões, como peças preenchidas com areia, terra, pedras, água ou entulho, para aumentar a sua resistência, incorporada nas argamassas na formação das paredes (12).

#### 2.3.4 Resíduo PVC

O PVC é obtido pela polimerização do cloreto de vinilo, na qual vários monómeros de cloreto de vinilo se unem, formando uma cadeia. O PVC é um dos polímeros sintético mais divulgado mundialmente devido á sua grande diversidade de aplicação na construção civil, na medicina e indústria da moda.

O PVC pode ser encontrado sob a forma rígido, não modificado apresentando um elevado grau de dureza, assim como como pode ser flexível (plastificado) com um comportamento mais elástico (18).

O PVC como vantagens apresenta as seguintes:

- custo de produção reduzido;
- fácil manuseamento;
- resistência fungicida;
- não é corrosivo;
- é impermeável a líquidos e gases;
- elevada resistência elétrica;



- um tempo de vida útil bastante longo.

Como desvantagens o PVC apresenta as seguintes:

- não é biodegradável;
- reduzida resistência térmica;
- na queima liberta gases de ácido clorídrico.

O PVC é 100% reciclável, sendo os processos de reciclagem química mais adequados por permitirem a remoção do cloro, possibilitando a produção de cloreto ao invés do gás cloro, no entanto, o PVC além de danificar o meio ambiente pode provocar graves problemas de saúde (19).

Neste trabalho o resíduo de PVC devidamente moído num moinho de facas será utilizado como substituto de agregado na produção de argamassa.



Figura 2.6 - Resíduo de PVC (persianas)



Figura 2.7 - resíduo de PVC moído

### 2.3.5 Resíduo EVA

O EVA é um copolímeros de etileno e acetato de vinila, isto é, termoplásticos produzidos por meio da copolimerização do monômero de acetato de vinila e etileno (20).

O resíduo de EVA é um copolímero termoplástico que apresenta as seguintes vantagens:

- Massa específica baixa, mais leve que água;
- Resistência térmica boa;
- Resistência acústica boa;
- Flexível mesmo a temperaturas baixas;
- Não é tóxico;
- É estável e inerte, não suscetível ataque de fungos.



Figura 2.8 - EVA embalada

No entanto, apresenta a desvantagem por ser um polímero termofixo, isto é, o EVA é um plástico duro, não podendo ser amolecido para ser reutilizado em novas formas, o que impossibilita a sua reintegração na produção de calçado, como é comumente utilizado.

Contudo, devido às características acima mencionadas poderá apresentar potencialidades como agregado sintético na confecção de argamassas e betões. Além disso, o resíduo de EVA não é um produto biodegradável e requer uma área de aterro cada vez maior para suportar os grandes volumes de resíduos gerados, sendo necessário arranjar soluções para a sua reutilização (21) (22). Existem já alguns estudos sobre o reaproveitamento deste resíduo, como seja, o apresentado por A. Melo e M. Lima Filho em 2009 que sugere: *“A utilização de resíduos de EVA (Etileno Acetato de Vinila), resultado da produção de sandálias, na construção civil ... têm grande potencial para serem empregados como agregados leves, em substituição aos agregados naturais, na elaboração de compósitos cimentícios alternativos.”* (23) .

## 2.4 ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AGREGADO POR RESÍDUOS PLÁSTICOS

A construção civil é grande consumidora de recursos naturais e de energia, ou seja, responsável pelo impacto ambiental criado na sociedade. Daí ter a incumbência de diminuir uso de recursos naturais, diminuindo deste modo a energia de extração, transporte e preparação dos recursos naturais bem como o gasto de energia na produção de argamassas. O uso de resíduos como plásticos, resíduos da construção civil, fibras e cinzas têm-se revelado como constituintes alternativos de substituição parcial de agregado natural ou de cimento Portland na composição e produção de argamassas mais sustentáveis. A inclusão de resíduos plásticos na substituição de agregado natural na composição de argamassas integra-se nesta linha de progresso (24).

Neste subcapítulo apresenta-se uma síntese dos estudos de argamassas com substituição parcial de agregado natural por PET, PVC e EVA efetuados por alunos no âmbito da unidade curricular de PROJ do 3ºano da Licenciatura de Engenharia Civil e da unidade curricular de DIPRE do Mestrado em Engenharia Civil, de artigos apresentados em congressos entre outras pesquisas.

#### **2.4.1 Argamassa com agregados de PET**

No ano 2017 as alunas Mariana Silveira e Marta Pereira apresentaram um estudo sobre “Argamassas com agregado reciclado de plásticos”, onde confeccionaram argamassas cimentícias com 0%, 5% e 15% de substituição parcial da areia por PET e observaram que o aumento da quantidade de PET na argamassa conduz a uma diminuição da trabalhabilidade da argamassa e das suas resistências mecânicas, porém observou-se durante o ensaio à flexão que as partícula de PET como possuíam uma forma irregular e achatada, tinham um comportamento idêntico ao de uma fibra, ou seja as partículas de PET unificavam a argamassa no caso desta ser sujeita a força de flexão, pelo que poderão ser utilizados para reforçar a resistência à flexão. Embora apresentam valores de coeficiente de absorção ligeiramente superiores aos da argamassa de controlo, consideram que os resíduos de PET atuarão como uma barreira impermeável que, assim sendo, impedirá a passagem de água e consequentemente a sua absorção por capilaridade (19).

Neste mesmo ano foi apresentado um estudo (24) sobre “Uso de Resíduos de Embalagens PET em Argamassas” pelo aluno de mestrado Leonardo Monteiro sobre três tipos de traços de argamassa (1:2, 1:3 e 1:4) com uma percentagem de substituição de areia por PET de 0%, 10% e 20%. Observou que com o aumento de percentagem de PET, maior é a necessidade de água, para se manter a mesma trabalhabilidade em todas as argamassas, ora o excesso de água não consumida na hidratação do cimento promove o aumento de porosidade e a diminuição de resistências mecânicas. Averiguando que quanto maior a percentagem de PET e menor a quantidade de cimento, maior é a porosidade e consequentemente maior é coeficiente de absorção de água e menor é a condutividade térmica. (25)

Em 2018, os alunos Vanessa Dias e Vítor Silva apresentaram um relatório sobre “Argamassas Com Agregado Reciclado De PET” , para tal confeccionaram argamassas cimentícias com 0%, 5%, 10% e 15% de substituição parcial da areia por PET moído, as conclusões foram idênticas aos estudos anteriores, apesar do resíduo estar moído, isto é, o aumento da quantidade do resíduo PET moído contribui para a diminuição das resistência mecânicas em relação à argamassa de referência (0% de PET), assim como os valores dos coeficientes de absorção por capilaridade da argamassa aumentam com a taxa de substituição de areia por resíduos PET moído, no entanto, estes valores contradizem os estudos efetuados em

campanhas anteriormente estudadas por outros investigadores. (26) Este comportamento já não é tão evidente na resistência à aderência por tração, isto é, com o aumento de percentagem de resíduo PET moído diminui a resistência de aderência em relação à argamassa de controle (27).

Nos diversos estudos consultados com argamassas com PET, de um modo geral, as vantagens encontradas têm sido a diminuição da massa volúmica e a diminuição de coeficiente de condutividade térmica.

#### **2.4.2 Argamassa com agregados de PVC**

No que diz respeito às argamassas com PVC incorporado, não se encontraram quase estudos nenhum, devido, possivelmente, por ser um plástico que pode ser considerado tóxico, principalmente na sua queima com libertação de gases tóxicos (cloro).

No ano 2017, as alunas Mariana Silveira e Marta Pereira no relatório sobre o estudo “Argamassas com agregado reciclado de plásticos”, onde confeccionaram argamassas cimentícias com 0%, 5%, 15% e 25% de substituição parcial da areia por PVC em partículas irregulares, obtiveram argamassas com trabalhabilidade idêntica à da argamassa com 0% de PVC, no entanto, as resistências mecânicas diminuem e os valores de coeficiente de absorção de água aumentam, apesar do PVC ser impermeável(19). Constataram que, os valores obtidos estavam de acordo com um estudo desenvolvido em 2009 por S. C. Kou, G. Lee, C. S. Poon e W. L. Lai, onde a areia foi substituída por PVC, nas percentagens de 0%, 5%, 15%, 30% e 45% em volume, e estes concluíram que a trabalhabilidade, a resistência à compressão e à tração diminuem com o aumento de percentagem de PVC [FF] (28) (19).

#### **2.4.3 Argamassa com agregados de EVA**

Não foram encontrados trabalhos relevantes com a utilização deste resíduo de plástico no repositório do ISEP. No entanto, em pesquisa bibliográfica, verificou-se que com a elevada produção de resíduos de EVA pela indústria do calçado, a partir do ano 2010, começam a aparecer diversos estudos de argamassas com traços diferente e diferentes percentagens de substituição parcial de agregado natural por EVA com granulometrias distintas. Averiguando, em todos os estudos, que as argamassas produzidas com agregado de EVA apresentam menor coeficiente de absorção de água e também uma diminuição da resistência mecânica com o aumento do teor de percentagem de substituição de agregado natural por resíduo de EVA.

Num estudo a decorrer no Laboratório de Materiais de Construção, no âmbito de um projeto de investigação, as argamassas com substituição parcial de areia por EVA nas percentagens de 0%, 30%, 50% e 70% em volume, verificou-se que as densidades baixavam com o aumento de EVA, no entanto as resistências mecânicas diminuía (29).



## Capítulo 3

### ANÁLISE EXPERIMENTAL

#### 3.1 INTRODUÇÃO

Nesta análise experimental pretendeu-se estudar o comportamento de argamassas com substituição parcial de agregados naturais por resíduos de plástico, nomeadamente o PET, PET Natural, EVA e PVC.

O presente capítulo tem como objetivo a caracterização dos materiais constituintes, a definição da composição das argamassas, preparação e produção de provetes, descrição sucinta dos ensaios realizados para avaliar o comportamento das argamassas no estado fresco e endurecido, nas duas campanhas experimentais.

#### 3.2 CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS

##### 3.2.1 Cimento

A palavra Cimento vem do latim “caementum” designa um material mineral ligante com propriedades hidráulicas, constituído por pós muito finos que amassados com água formam uma pasta que endurecendo confere grande coesão e resistência ao conjunto que pretende aglomerar (14).

O cimento como material de construção é de extrema importância, em Portugal existem 2 indústrias (CIMPOR e SECIL) e a sua produção conjunta é de aproximadamente de 11 milhões de toneladas por ano (15) (16).

O cimento Portland é um dos ligantes hidráulicos mais utilizados em argamassas, desenvolve uma elevada resistência mecânica, apresenta uma durabilidade considerável e uma capacidade de concentração de partículas elevado. Ganha presa e endurece por hidratação, que tanto pode acontecer ao ar livre como em ambiente submerso em água.

No trabalho foi usado o cimento Portland, SUPRATEK CEM I, da classe de resistência 42.5 R, da Secil da fábrica de Outão, apresenta uma cor cinzenta com elevado calor de hidratação e elevada reatividade, constituído por 95% a 100% Clínquer Portland e por 0% a 5% outros constituintes, tem um

desenvolvimento de resistência inicial rápido e apresenta resistências aos 28 dias dentro dos valores da classe indicada (17).

Escolheu-se este tipo de cimento devido ser o recomendado na norma NP EN 196-1, para o fabrico de argamassas de controlo.

A ficha técnica deste cimento CEM I 42,5 R apresenta -se em anexo II.

Quadro 3.1 - Cimento CEM I 42,5 R

Requisitos mínimos do CEM I 42.5 R		
Físicas	Químicas	Mecânicas
Início de presa (min.) $\geq 60$	Perda de Fogo (P.F.) $\leq 5.0\%$	Resistência à Compressão
Expansibilidade (mm) $\leq 10$	Resíduo Insolúvel (R.I.) $\leq 5.0\%$	2 dias $\geq 20,0$ MPa
	Sulfatos (SO <sub>3</sub> ) $\leq 4.0\%$	28 dias $\geq 42,5$ MPa e $\leq 62,5$ MPa
	Cloretos (Cl) $\leq 0.10\%$	



### 3.2.2 Água

A água utilizada no fabrico das argamassas foi da rede publica do Porto, disponível no próprio Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Superior de Engenharia do Porto, a qual segundo as Normas NP EN 196-1 e NP EN 1008, como é potável, esta cumpre automaticamente aptidão para o fabrico das argamassas, isto é, uma água incolor, límpida, isenta de impurezas, como seja sais nocivos e isenta de matéria orgânica (18).

### 3.2.3 Adjuvante

Os adjuvantes, quando adicionados às argamassas, podem promover uma alteração significativa da sua viscosidade, o qual obviamente depende do tipo e da quantidade utilizada, são utilizados para melhorar as propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido e facilitar a sua aplicação.

As principais características, que se pretende alcançar, com o uso de adjuvantes são: melhorar a trabalhabilidade, acelerar e retardar a presa, acelerar o endurecimento e aumentar as tensões de rotura nos primeiros meses, diminuir a permeabilidade aos líquidos e aumentar a aderência ao agregado, entre outros.

Na primeira campanha experimental foi utilizado como adjuvante o Licor Negro fornecido pelo CIETI (Centro de Inovação em Engenharia Tecnologia Industrial) e na segunda campanha experimental foi usado um adjuvante WOERMENT FM 735 da EUROMODAL SA, de modo a obter uma trabalhabilidade semelhantes às da argamassa de controlo (19).

O adjuvante licor negro é um subproduto do processo de tratamento químico da indústria de papel e celulose, isto é, um fluido produzido à saída do digestor, responsável pela cozedura da madeira para retirar componentes indesejáveis ao processo de fabricação do papel, tais como lignina, extrativos e cinzas.

O uso do adjuvante licor negro teve como objetivo obter uma argamassa trabalhável, sem necessidade aumentar a quantidade de água na composição da argamassa, isto é, manter a baixa razão água/cimento assim como melhorar a trabalhabilidade da mesma. Tem-se também como propósito a reutilização do licor negro.

Quadro 3.2 - Composição química do Licor Negro


Elemento	Conteúdo g/kg (solido seco)
Na	19.3
K	3.34
S <sub>tot</sub>	5.50
Cl <sub>tot</sub>	0.41
S <sup>2-</sup>	1.93
NaOH	1.1
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	6.2
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	0.1
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.13
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.23
C	31.9
H	3.33





O adjuvante WOERMENT FM 735 é um forte redutor de água, isto é, permite obter uma argamassa com trabalhabilidade sem aumentar a quantidade de água e com uma consistência plástica.

Quadro 3.3 - Características essenciais de WOERMENT FM 735.

	Características essenciais	Desempenho (Para igual razão A/C)
	Teor de cloretos	$\leq 0,1$ % em massa
	Teor de álcalis	$\leq 1,2$ % em massa
	Comportamento à corrosão	Contém apenas componentes aprovados da EN 934-1: 2008, Anexo A.1
	Resistência à compressão	Aos 28 d: resistência à compressão do betão de ensaio $\geq 90$ % da do betão de controlo.
	Consistência	30 min após adicionar o adjuvante, a consistência do betão de ensaio não desce abaixo da consistência inicial do betão de controlo.

Apresenta-se em anexo III as fichas técnicas destes adjuvantes.

### 3.2.4 Areia

As areias foram fornecidas pela Empresa EUROMODAL, ambas de origem marítima e lavadas, sendo uma das areias mais fina que a outra. Devido não terem a granulometria da areia normalizada referida na norma NP EN 196-1, foi efetuado análises granulométricas e determinada as suas baridades.

Na primeira campanha experimental apenas se utilizou areia com granulometria mais fina.

Na segunda campanha experimental o agregado natural utilizado resultou da mistura de 80% da areia fina com 20% da areia com granulometria mais grossa.



a) Areia Fina

b) Areia Grossa

Figura 3.1 - Amostra das Areia Utilizadas.

### 3.2.4.1 Análise granulométrica

Na realização dos provetes de argamassa, deve ser verificado primeiramente se o agregado utilizado se identifica com a areia normalizada CEN (Comité Europeu de Normalização), para isso foi realizado o ensaio de Análise Granulométrica determinando a sua distribuição, necessário para representação da curva granulométrica, e assim determinar as suas características físicas, e desta forma proceder a sua classificação através do quadro 2 da norma NP EN 12620 e segundo o quadro 1 da NP EN 13193.

A análise granulométrica dos agregados tem como objetivo estudar a distribuição das partículas, onde este tem uma grande influencia nas argamassas. Esse estudo é realizado através de uma peneiração que pode ser mecânica ou manual, neste caso mecânico, e foi realizado cumprindo a norma NP EN 933-1.

Inicializando a análise, procede-se a separação de uma fração de agregado contendo partículas com dimensões entre os limites correspondentes às aberturas dos correspondentes peneiros, coloca-se a amostra nos peneiros, alinhados verticalmente, de seguida colocam-se os peneiros no agitador de partículas procedendo ao peneiramento durante 10 min (1 minuto por peneiro), após o término desse tempo recolhe-se e pesa-se todo o material que ficou retido em cada um dos peneiros (20).

Análise granulométrica só é considerada válida se obedecer à seguinte expressão:

$$\frac{(M_2 - (\sum R_i + P))}{M_2} * 100 < 1\% \quad [1]$$

Em que:

$M_2$  – Massa Total após a lavagem (g);

$R_i$  – Quantidade retida no peneiro (g);

$P$  – Massa do material que passa no peneiro 0,063.

A percentagem do material retido em cada peneiro é obtida através da expressão:

$$\frac{R_i}{M_1} * 100 \quad [2]$$

Em que:

$R_i$  – Quantidade retida no peneiro (g);

$M_1$  – Massa total da amostra (g).



Figura 3.2 - Equipamento usado na análise granulométrica.

Após análise de todos os registos das pesagens dos retidos em cada peneiro, elaboram-se as curvas granulométricas das areias: AF, AG e areia de mistura 80%AF + 20%AG.

A curva granulométrica é uma linha contínua que une os pontos que representam o resultado da análise granulométrica, isto é, os pontos em que as abcissas correspondem às aberturas das malhas dos peneiros e as ordenadas correspondem aos passados acumulados.

As curvas granulométricas são fundamentais para apreciar rapidamente a granulometria do agregado e as deficiências que possa ter a nível de certas frações granulométricas, por exemplo a falta de partículas de dada dimensão.

### 3.2.4.2 Baridade

A baridade de um agregado é definida como a massa por unidade de volume do agregado contida num recipiente, isto é, o volume inclui os espaços entre as partículas do agregado e o recipiente (este é um volume aparente maior que o volume real que as partículas ocupam).

É evidente que o intervalo granulométrico que compõe o agregado, a forma das partículas e o seu arranjo no recipiente (compacidade) contribuem para o valor da baridade.

O ensaio da baridade é realizado de acordo com a norma NP EN 1097- 3, isto é, pesou-se o recipiente seco e limpo, de seguida encheu-se com areia até transbordar, retirou-se o excedente com o auxílio de uma régua e efetuou-se a pesagem.



Figura 3.3 - Ensaio da Baridade.

O recipiente que se utiliza para calcular a baridade é um contentor cilíndrico estanque.

A baridade é obtida pela seguinte equação:

$$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad [3]$$

Onde:

$\rho_b$  – Baridade (Mg/m<sup>3</sup>);

$m_1$  – Massa do recipiente vazio (kg);

$m_2$  – Massa do recipiente mais provete (kg);

$V$  – Volume do recipiente (l).

### 3.2.5 Agregados de Resíduos plásticos

Na análise experimental foram utilizados quatro tipos de agregados de resíduos plásticos provenientes da empresa Daniel Morais S.A., localizada em Serzedo, Vila Nova de Gaia, nomeadamente: os resíduos

resultantes da trituração de PET; os resíduos de PET natural; os resíduos de EVA e os resíduos resultantes de trituração de PVC. Todos estes resíduos são materiais não biodegradáveis, sendo necessário proceder à sua reciclagem ou reutilização.

Realizaram-se duas campanhas experimentais. Na primeira campanha utilizaram-se os resíduos plásticos reciclados como substituição parcial dos agregados naturais sem sofreram qualquer transformação mecânica numa percentagem de 10% e 20% PET, 10% PVC e 10% EVA da massa do agregado (Figura 3.4). Na segunda campanha os resíduos de plásticos sofrem uma transformação mecânica obtida por moagem em moinhos de facas numa percentagem de 7.5% PETM, 7.5% PETNM e 7.5% EVAM, devido não ser possível moer mais material.

O agregado com resíduos de plástico tem uma massa volúmica mais baixa do que os agregados naturais, resultando então uma argamassas com menor massa volúmica e consequentemente um modulo de elasticidade mais baixo por este ser proporcional à massa volúmica (2). Assim sendo com o aumento da percentagem de substituição de agregado plástico, diminui o modulo de elasticidade da argamassa. Contribui também para esta diminuição o facto de estes resíduos não serem absorventes e então existe uma fraca adesão entre a matriz cimentícia e os agregados plásticos.

#### **3.2.5.1 Resíduo PET**

O PET é um termoplástico com uma estrutura alifática e semicristalina e pertence a família dos poliésteres.

A empresa Daniel Morais forneceu dois tipos de resíduo Polietileno de tereftalato (PET), um apresenta uma coloração amarela brilhante, forma lamelar, angulosa e flexível e outro PET natural (PETN) com uma forma arredondada, esverdeado translúcido e com uma granulometria uniforme, como se pode ver na Figura 3.4. Ambos têm uma elevada resistência química, uma excelente estabilidade térmica, no entanto são deformáveis quando sujeito ou exposto ao calor, o que resulta na alteração do seu formato e aspeto.

Na primeira campanha experimental foram utilizados tal como foram entregues pela empresa Daniel Morais. Na segunda campanha experimental procedeu-se a uma moagem de cada um destes tipos de resíduos, através de um moinho de facas.

No item 4.2.1 apresentam-se as granulometrias dos resíduos PET e PETN com e sem moagem.

#### **3.2.5.2 Resíduo de EVA**

O EVA (Etil- Vinil- Acetato) é um copolímero termoplástico produzido a partir dos monómeros etileno e acetato de vinilo. O grau de cristalização é afetado pelo conteúdo de acetato de vinilo.

O EVA obtido na empresa Daniel Morais é translúcido com uma forma granulada aproximadamente esférica e granulometria homogênea, (Figura 3.4), com um baixo conteúdo de acetato de vinil (AV), isto é, valores compreendidos entre 3 e 20%.

### 3.2.5.3 Resíduo de PVC

O policloreto de vinilo, comumente conhecido por PVC, é um termoplástico, polimérico composto por várias moléculas de cloreto de vinilo (21).

O PVC obtido na empresa Daniel Morais um apresenta uma coloração cinza claro vitrificada, com forma lamelar e angulosa, com uma granulometria irregular, ver Figura 3.4. O PVC é um produto impermeável a líquidos e gases, podendo ser inflamável a partir certas temperaturas devido á presença de eteno na composição, isto é, uma reduzida resistência térmica. O PVC apresenta um tempo de vida útil bastante longo, à semelhança do PET e da EVA, não é biodegradável e provoca danos ao meio ambiente.

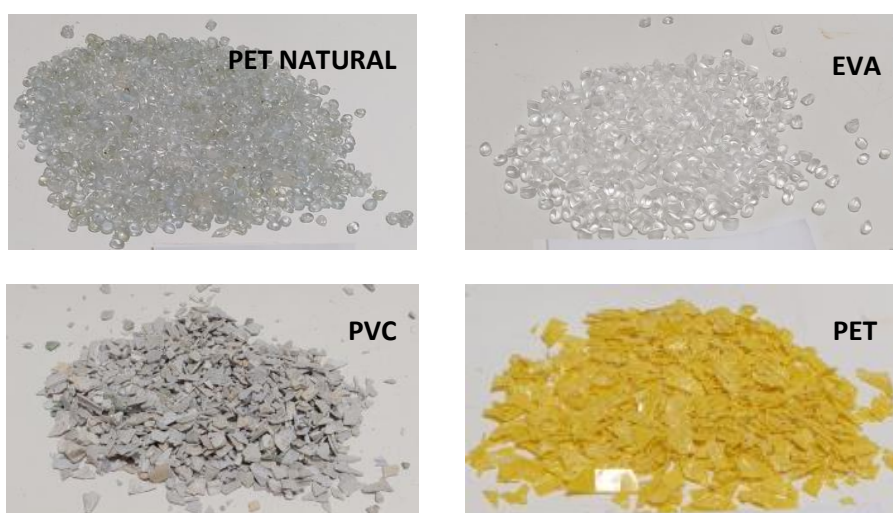


Figura 3.4 - Agregados de resíduos plásticos sem transformação mecânica.



Figura 3.5 - Agregados de resíduos plásticos moídos.

### 3.3 COMPOSIÇÃO E PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS

A composição das argamassas foi obtida de modo ter a mesma trabalhabilidade, a areia foi substituída, na mesma quantidade em peso, por agregados de resíduos plásticos, nas percentagens de 0%, 10% e 20% a um traço em peso de 1:3 (cimento: agregados) e utilizando quatro tipos de resíduos plásticos diferentes. Na primeira Campanha experimental, como as argamassas apresentavam uma trabalhabilidade baixa foi adicionado Licor Negro com intuito de aumentar a sua plasticidade.

Na segunda campanha experimental apenas substitui o agregado natural por três resíduos nas seguintes percentagens 0% e 7.5%, confeccionaram-se argamassas com os resíduos plásticos tal como foram adquiridas e argamassas com os resíduos plásticos moídos através de moinhos de facas, nesta Campanha aplicou um adjuvante superplastificante da Euromodal o WOERMENT FM 735 nas quantidades apresentadas no Quadro 3.4

O quadro seguinte apresenta as quantidades utilizadas em cada argamassa onde, AC- Argamassa de controlo; APET- Argamassa com resíduo PET (10% e 7,5%); APETM - Argamassa com resíduo PET moído (7,5%); APN- Argamassa com resíduo PET Natural (10% e 7,5%); APNM- Argamassa com resíduo PET Natural moído (7,5%); AEVA - Argamassa com resíduo EVA (10% e 7,5%); AEVAM - Argamassa com resíduo EVA moído (7,5%); APVC- Argamassa com resíduo PVC (10%).

Quadro 3.4 - Composição das argamassas.

Argamassa\ Constituintes	1ª campanha experimental					2ª campanha experimental			
	AC1	APET10	APN10	AEVA10	APVC10	AC2	APET7.5 APETM7.5	APN7.5 APNM7.5	AEVA7.5 AEVAM7.5
<b>Cimento (g)</b>	450	450	450	450	450	450	450	450	450
<b>Areia (g)</b>	1350	1215	1215	1215	1215	1350	1248.75	1248.75	1248.75
<b>Água (ml)</b>	225	225	225	225	225	225	225	225	225
<b>Resíduo (g)</b>	-	135	135	135	135	-	101.25	101.25	101.25
<b>Adjuvante (g)</b>	9	18	18	18	18	4.5	2.25	2.25	2.25

Manteve-se sempre a quantidade de cimento e de água, variando apenas a percentagem de resíduos, mas mantendo sempre a soma total de 1350g de agregados (Areia + Resíduo). As quantidades de adjuvante foram as necessárias para manter as trabalhabilidades o mais aproximado das argamassas de controlo.



Figura 3.6 - Equipamento para confeção da argamassa.

As amassaduras das argamassas foram executadas de acordo com os procedimentos descritos nas normas EN 1015-2 e NP EN 196-1 exceto no seguinte, após a pesagem dos constituintes o agregado natural foi misturado a seco com o resíduo a integrar na argamassa, Figura 3.8 (22) (23).

A Figura 3.7 apresenta resumidamente os procedimentos seguidos na confeção da argamassa.

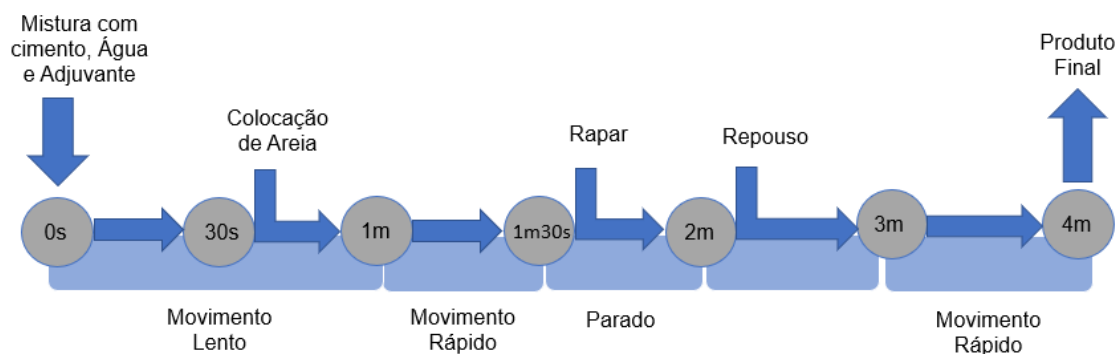


Figura 3.7 - Procedimento das confeções da argamassa.



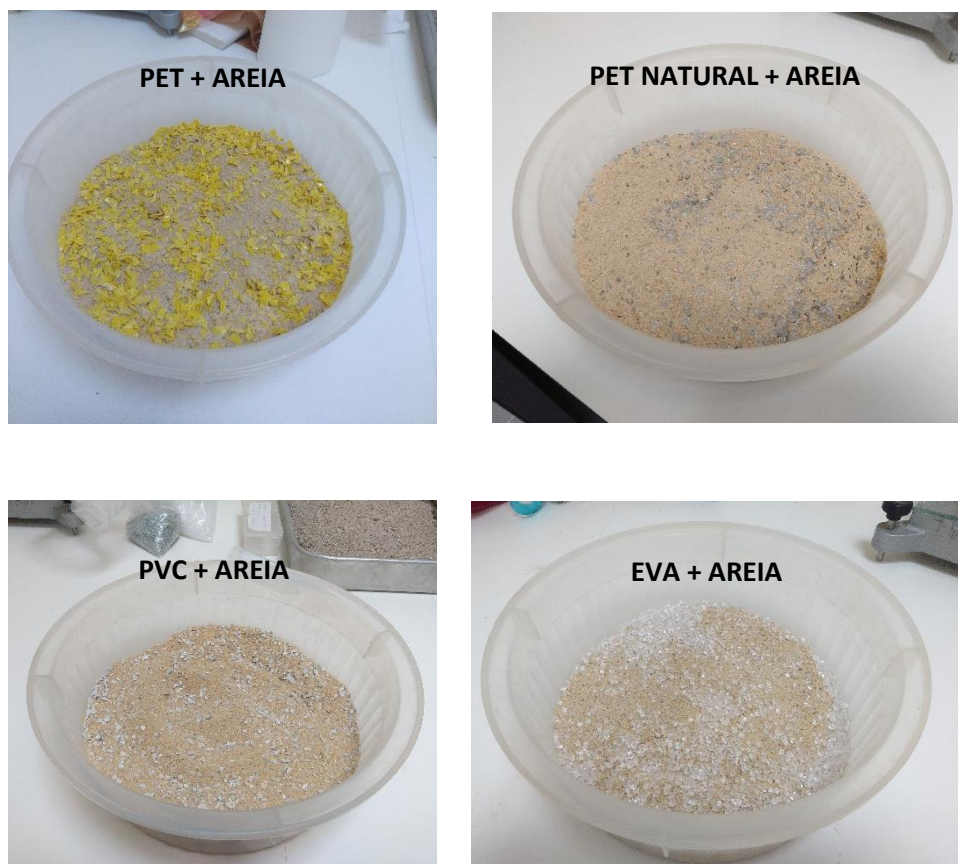


Figura 3.8 - Mistura dos resíduos plásticos com o agregado natural.

### 3.4 PREPARAÇÃO E CURA DOS PROVETES

Todos os ensaios foram realizados em provetes prismáticos, exceto no ensaio de arrancamento (Pull-off) em que se revestiu uma das faces de um tijolo previamente limpa e humedecida com uma argamassa de 1.5 cm de espessura.

Os provetes prismáticos são obtidos a partir de um molde constituídos por três compartimentos horizontais, permitindo a preparação simultânea de três provetes prismáticos, com a secção transversal de 40 mm × 40 mm e com 160 mm de comprimento, em aço com paredes de aproximadamente 10 mm de espessura, Figura 3.9. Devido à sua constituição, a desmoldagem dos provetes é extremamente fácil de ser executada sem os danificar.



Figura 3.9 - Molde de argamassa.

A confecção dos provetes começa com aplicação de óleo desmoldante em todas as faces interiores do molde, a seguir confecciona-se argamassa de acordo com o item 3.2 (constituente das argamassa) e coloca-se no molde em duas camadas, Figura 3.10 (Esq) , cada uma das quais compactada com 60 pancadas pelo compactador, Figura 3.11, para finalizar rasa-se a superfície do molde com auxílio de uma talocha, Figura 3.10 (Dir), procede-se então à cura dos provetes, de acordo com o ensaio a executar.



Figura 3.10 - Colocação da argamassa no molde (Esq);  
Remoção do excesso de argamassa (Dir)

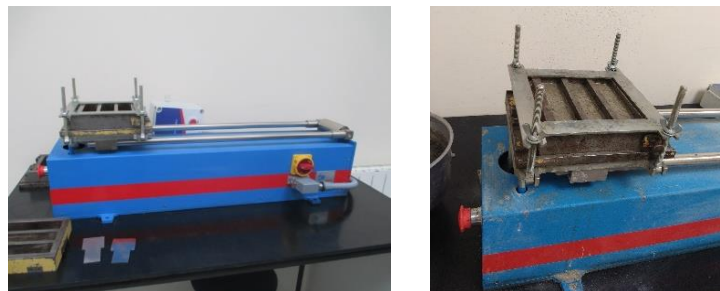


Figura 3.11 - Compactador

Para finalizar todo este processo colocar os moldes numa superfície plana, tapar e identificá-los, procedendo-se a sua desmoldagem após 24 horas, identificar cada provete e colocá-los num recipiente com água de forma a ficarem submersos até à data do respetivo ensaio.



Figura 3.12 - Recipiente com provetes submersos em água.

### 3.5 ENSAIO NO ESTADO FRESCO

#### 3.5.1 Trabalhabilidade da argamassa – Ensaio da mesa de espalhamento

Para a realização deste ensaio seguiu-se a norma EN 1015-3, a qual diz que “o valor da consistência por espalhamento é uma quantificação da fluidez e/ou grau de molhagem das argamassas frescas e fornece uma indicação sobre a deformabilidade dessas argamassas quando submetidas a determinado tipo de tensão”, este ensaio foi realizado para cada uma das argamassas, quer para a argamassa de controlo, quer para as argamassas com adições de resíduos (24).

Para proceder à realização do ensaio centrou-se o molde troncocónico sobre a mesa circular ( Figura 3.13) e preencheu-se com duas camadas semelhantes de argamassa fresca compactando cada uma delas com 10 pancadas com um pilão, com o molde totalmente preenchido, retirar o excesso com uma régua e de seguida erguer na vertical o molde e aplicar 15 pancadas (1pancada/s). Finalizado este passo proceder a medição do diâmetro de espalhamento em 3 direções.



Figura 3.13 - Procedimentos da realização do ensaio da trabalhabilidade; 1- retirada do molde na vertical; 2- aplicação de 15 pancadas; 3- medição do diâmetro em 3 direções;

Quanto menor for o espalhamento da argamassa, menor irá ser a sua trabalhabilidade e consequentemente a sua deformabilidade.

### 3.5.2 Massa volúmica

O ensaio para a determinação da massa volúmica fresca realizou-se segundo os procedimentos da Norma EN 1015-6. Objetivo deste ensaio foi determinar a massa volúmica aparente da argamassa no estado fresco.

A massa volúmica é a relação entre a massa de argamassa introduzida num recipiente rígido e estanque, com massa e volume conhecidos segundo a seguinte equação:

$$\rho_v = \frac{m_2 - m_1}{V_v} \quad [4]$$

Onde:

$\rho_v$  – massa volúmica (g/cm<sup>3</sup>);

$m_1$  - massa do molde (g);

$m_2$  - massa total da argamassa fresca no molde (g);

$V_v$  - Volume do provete (cm<sup>3</sup>).

A argamassa é introduzida no recipiente sob as condições descritas na Norma. Deste modo, determinaram-se as massas dos moldes usados e, após o processo de compactação, registou-se também a massa da argamassa já no molde (25).

## 3.6 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

### 3.6.1 Massa volúmica

A massa volúmica foi determinada segundo os procedimentos da norma EN 1015-10, na parte aplicável, para tal utilizou-se o seguinte equipamento, uma craveira e uma balança, com precisão de 0.01 g

Em cada provete são efetuadas medições, em que a medição da altura e largura resultam da média de três medições efetuadas nos extremos e no centro do provete, e apenas se efetua uma medição para o comprimento. Em seguida pesa-se e regista-se a massa dos provetes.

A massa volúmica é obtida pela seguinte expressão:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad [5]$$

em que:

$\rho$  - Massa volúmica do provete no estado endurecido [g/cm<sup>3</sup>];

$M$  - Massa do provete [g];

$V$  - Volume do provete [cm<sup>3</sup>].

Para cada tipo de argamassa, são utilizados três provetes. O resultado da média dos três provetes. (25)

### 3.6.2 Ensaio de resistência à flexão e compressão

Os ensaios de resistência mecânica à flexão e compressão possibilitam caracterizar as argamassas quanto à capacidade de suportar as forças externas a que possam estar sujeitas. Estes ensaios foram realizados no laboratório da EUROMODAL, numa prensa hidráulica com recurso a software de análise de resultados, segundo os procedimentos da norma NP EN 196-1:2017.

Os provetes foram transportados numa caixa plástica cobertos com panos húmidos, demorou aproximadamente 60 minutos desde o momento que se retirou os provetes da água até ao início do ensaio.

A primeira campanha experimental foi realizada após a cura dos provetes aos 29 dias, já a segunda campanha experimental só se realizou aos 63 dias, devido conter o período de férias.

O ensaio inicia-se com a determinação da resistência à flexão, a partir de um ensaio de flexão em três pontos de carga, tal como definido na Norma. Para tal, os provetes são colocados no equipamento de ensaio previamente programado de modo a cumprir todos os critérios e tolerâncias definidas na presente Norma, tendo o cuidado de colocar o provete centrado e com o eixo longitudinal perpendicular aos dois apoios e assegurar que a face lateral moldada do provete fique sobre os cilindros de apoio, a aplicar a carga a uma velocidade uniforme de  $(50 \pm 10)$  N/s, até à rotura (23).

Na Figura 3.14 apresentam-se os momentos do ensaio antes e após a flexão.

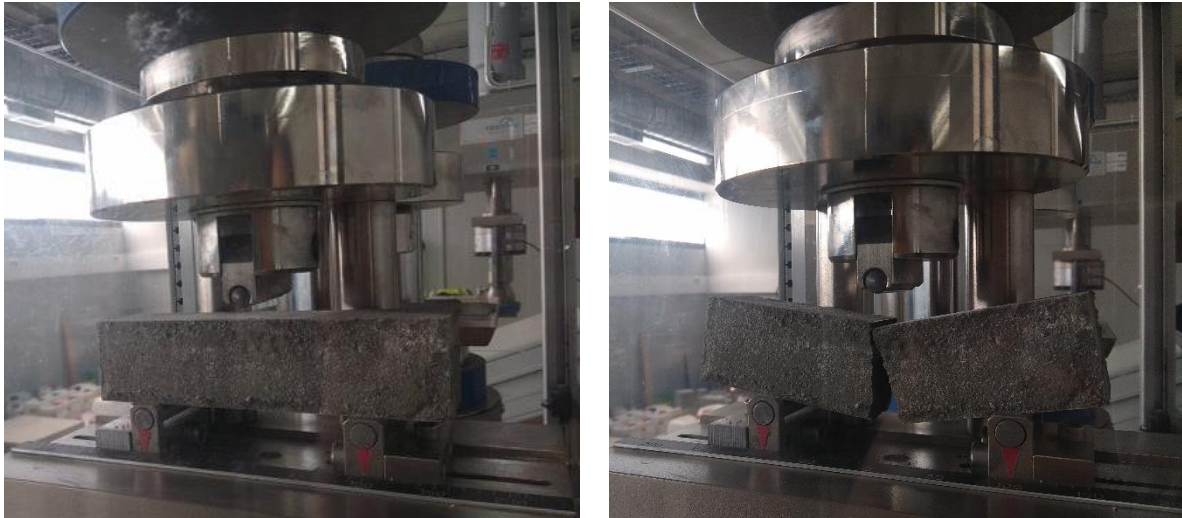


Figura 3.14 - Ensaio a flexão antes e após a rotura respetivamente.

Segundo a norma NP EN 196-1:2017 a resistência a flexão de cada provete é calculada pela seguinte expressão:

$$f_f = 1,5 \times \frac{F_f \times l}{b^3} \quad 6$$

Em que:

$f_f$  - Resistência à flexão de cada provete ( $\text{N/mm}^2$ );

$F_f$  - Carga de rotura à flexão de cada provete (N);

$l$  - Distância entre apoios (100 mm);

$b$  - Largura do provete (mm).

O resultado da resistência à flexão da argamassa é obtido através da média de cada um dos provetes da mesma idade.

A seguir realiza-se o ensaio de compressão com os meios prismas que resultaram do ensaio de flexão, são colocados no prato inferior no modulo de compressão da prensa hidráulica, com uma das faces laterais de moldagem em contacto com o prato. Aplicada uma força gradual sobre a metade do provete a uma velocidade de  $(2400 \pm 200) \text{ N/s}$ , regista-se a carga máxima suportada até à rotura (23).

Na Figura 3.15, apresentam se os momentos do ensaio antes e após a compressão.





Figura 3.15 - Ensaio a compressão antes e após a rotura respetivamente

Segundo a norma NP EN 196-1:2017 a resistência à compressão de cada metade do prisma é obtida através da seguinte expressão:

$$f_c = \frac{F_c}{1600} \quad 7$$

$f_c$  - Resistência à compressão de cada provete (MPa);

$F_c$  - Carga de rotura à compressão do provete (N);

1600 - Área dos pratos (40 mm × 40mm) (mm<sup>2</sup>).

O resultado da resistência à compressão da argamassa é obtido através da média de dos valores de cada um dos semi-prismas ensaiados.

### 3.6.3 Ensaio de absorção da água por capilaridade

A inclusão de resíduos plásticos na substituição parcial do agregado de uma argamassa altera as propriedades de absorção de água prejudicando o desempenho das argamassas e para avaliar de que forma essas propriedades alteram em relação a uma argamassa de controlo é realizado o ensaio de absorção de água por capilaridade segundo recomendação RILEM TC116 – PCD, na parte aplicável e na especificação do LNEC E393. Este ensaio tem como objetivo avaliar o coeficiente de absorção de cada tipo de resíduo de maneira a relacionar esse coeficiente de absorção por capilaridade com a velocidade a que absorve a água. Constatando que uma argamassa pode ser considerada de boa qualidade quanto menor for coeficiente de absorção por capilaridade ou seja menor velocidade de absorção da água.

Na primeira campanha experimental este ensaio realizou-se aos 33 dias e na segunda campanha experimental aos 58 dias.

Este ensaio realizou-se do seguinte modo:

- Os provetes depois de curados em água a 20 °C, foram previamente secos numa estufa a uma temperatura de  $40 \pm 5$  °C, até ser atingida massa constante, isto é, quando a diferença das pesagens antes e depois da secagem, for inferior a 0,2% da massa inicial;
- Após ser atingida massa constante, retiram-se os provetes da estufa e deixam-se arrefecer à temperatura ambiente;
- Em seguida inseriu-se água num tabuleiro até que a altura desta atingisse um nível aproximado de  $5 \pm 1$  mm acima da base dos provetes (Figura 3.16) com os provetes todos colocados, começou-se a contagem do tempo e efetuaram-se pesagens a cada 5, 10, 20 e 30 minutos, 1 hora, 1h30, 2 horas, 3 horas, 4 horas e por último passado 4h30 do início da contagem do tempo;
- Ao retirar os provetes para pesar, limpou-se primeiro a superfície do provete em contato com a água com um pano e só depois se realizaram as pesagens (Figura 3.17).

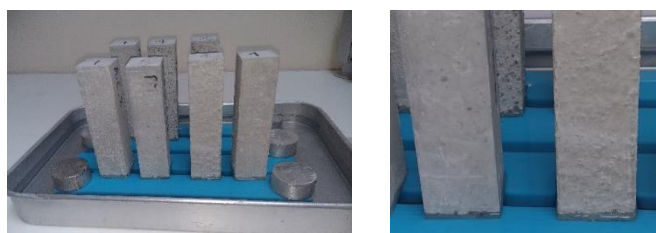


Figura 3.16 - Provetes em água para o ensaio da capilaridade.



Figura 3.17 - Operação de secagem e pesagem dos provetes.



Após as leituras de cada provete, traçou-se o gráfico da absorção de água por unidade de superfície em função da raiz quadrada do tempo, os quais podem ser modelados pela seguinte equação:

$$A = a_0 + S \times \sqrt{t} \quad [8]$$

Em que:

$A$  – Absorção de água por unidade de superfície ( $mg/mm^2$ );

$a_0$  – Água inicialmente absorvida pelos poros em contato com a água ( $mg/mm^2$ );

$S$  – Coeficiente de absorção do material ( $mg/(mm^2 \times min^{0,5})$ );

$t$  – Tempo passado desde o instante inicial (min).

Assim determinar o coeficiente de absorção de cada argamassa,

#### 3.6.4 Ensaio de Arrancamento (Pull-Off)

A realização do ensaio de arrancamento (Pull – Off) foi realizado de acordo com a norma EN 1015 - 12:2000 e têm como objetivo avaliar a aderência da superfície de suporte (tijolo cerâmico) de uma argamassa determinado as suas capacidades de resistência ao arrancamento por tração. (35)

Revestiu-se uma das faces do tijolo previamente limpa e humedecida com uma argamassa de 1.5 cm de espessura, Figura 3.18, após 28 dias efetuou-se a marcação de um quadrilátero e com uma rebarbadora executou-se um corte até à superfície do suporte da argamassa (os quadrados apresentam medidas compreendidas entre os 50 e 80 mm por a falta de experiência a efetuar). Em seguida com uma lixa poliu-se a superfície, retirando as irregularidades e as poeiras, foram coladas duas pastilhas por tijolo, ou seja, uma pastilha metálica em cada quadricula previamente marcada, utilizando uma cola epoxídica, este procedimento está ilustrado na Figura 3.19.



Figura 3.18 - Preparação do tijolo com argamassa.



Figura 3.19 - Preparação da superfície para o ensaio “PULL OFF”

Após a secagem da cola durante 48h, com a utilização de um aparelho Pull-Off, Figura 3.20, iniciou-se o ensaio de arrancamento. Colocar o aparelho de maneira a que garra (Figura 3.21) encaixe no parafuso de cabeça esférica que está agregada à pastilha. Nivelar o aparelho, colocar a zeros o digital, carregar em PEAK e registar o valor da tensão máxima obtida em cada arrancamento e o tipo de rotura.



Figura 3.20 - Aparelho Pull-Off 16KN



Figura 3.21 - Encaixe da garra ao parafuso de cabeça esférica agregado a pastilha.

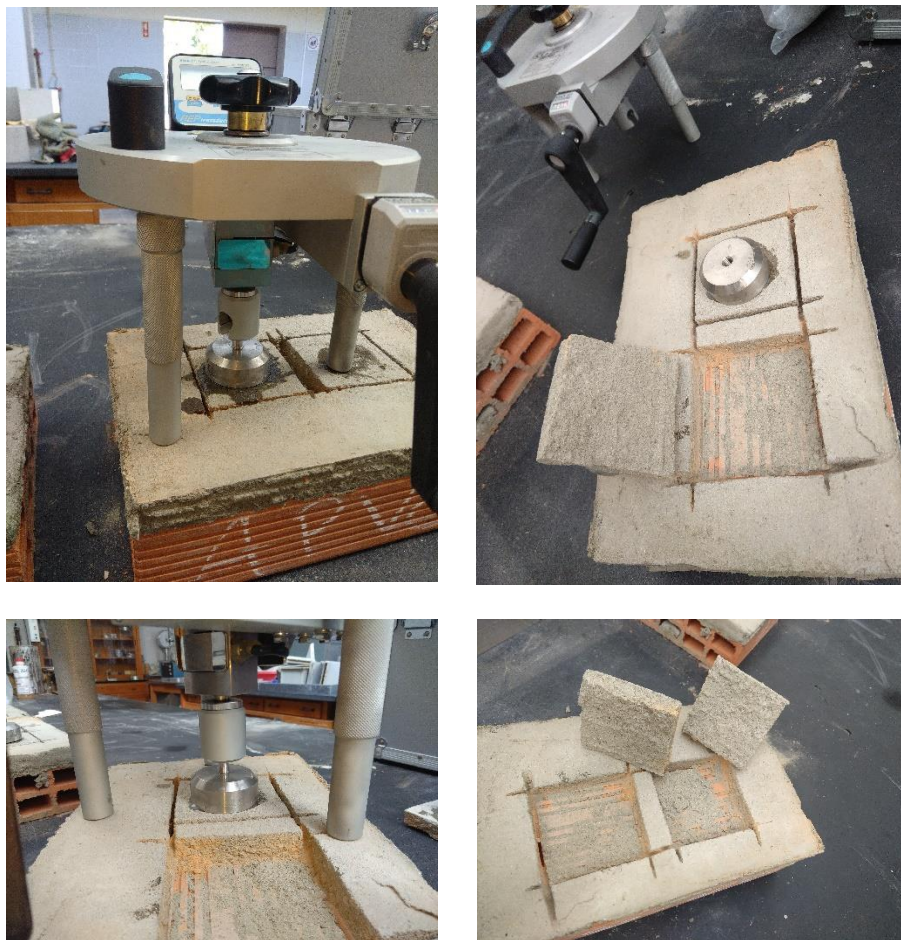


Figura 3.22 - Processo de ensaio de arrancamento.

Após este processo, Figura 3.22, deve-se verificar para cada tipo de suporte, o seu tipo de rutura, isto é, existem dois tipos de rutura: adesiva e coesiva. A rutura adesiva ocorre na interface entre argamassa e o tijolo, sendo o valor do ensaio igual à força de aderência. A rutura coesiva, ocorrerá pela argamassa ou pelo suporte (tijolo), sendo a força adesiva um majorante do valor registado no ensaio.

Na Figura 3.23 apresentam-se os três tipos de rutura enunciados na norma EN1015-12:2000.

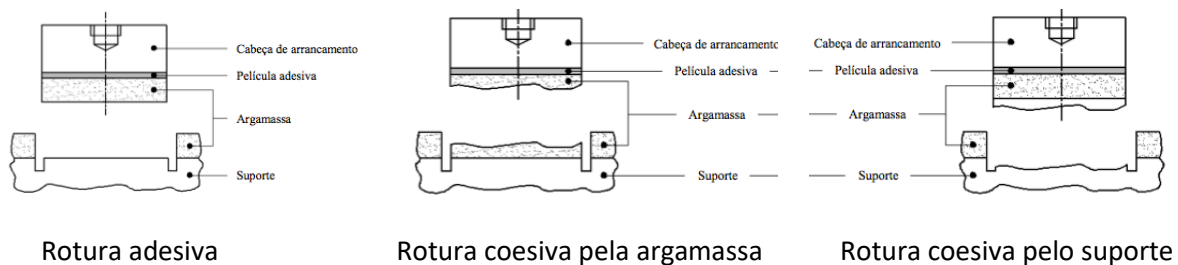


Figura 3.23 - Tipos de rutura (26)

A tensão de arrancamento de cada provete de argamassa é determinada pela seguinte equação:

$$f_u = \frac{F_u}{A} \quad [9]$$

Em que:

$f_u$  - Tensão de arrancamento de cada provete (MPa);

$F_u$  - Carga de arrancamento à compressão do provete (N);

$A$  - Área de contacto da pastilha com a argamassa (mm<sup>2</sup>).

O resultado da resistência ao arrancamento é obtido através da média de dois valores.

### 3.6.5 Determinação do coeficiente de condutividade térmica

A determinação do ensaio da condutividade térmica em argamassas com resíduos plásticos é incomum, não existindo norma específica para tal ensaio, então seguiu-se uma ficha do Departamento de Física do Instituto Superior de Engenharia do Porto, DEFI-NRM-1019, versão 02, 14/03/2008, que desenvolve a avaliação térmica através de uma casa de alto isolamento térmico PHYWE com paredes substituíveis (Figura 3.24) .

Na realização do ensaio foram confeccionados provetes prismáticos (250 × 250 × 15 mm) apenas da argamassa de controlo, AC, argamassas com 10% de substituição de agregado por EVA, PVC e PET natural, respetivamente argamassa AEVA10, argamassa APVC10 e argamassa APN10, num total de quatro provetes, para colocar um provete em cada uma das paredes da casa. Além disso recorreu-se a uma fonte de calor para aquecer o interior da casa e a um conjunto de termopares EasyLog USB com amplitude de - 30°C a 100°C, para se registarem as diferenças de temperatura superficial no interior e exterior de cada provete, assim como mais dois termopares, pertencentes ao equipamento Hand-Held Measuring Instrument 2xNiCr-Ni da PHYWE, para controlo da temperatura do interior e exterior da casa.

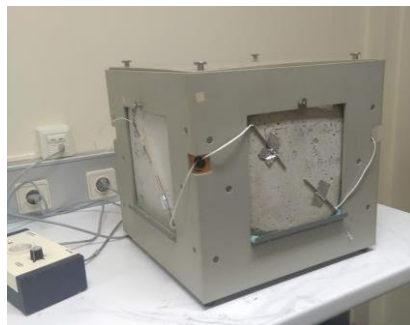


Figura 3.24 - Ensaio da condutividade térmica.

Sabendo que a equação de calor transferido por condução segundo a lei de Fourier é a seguinte:

$$q = \frac{\lambda}{e} \times A(T_{si} - T_{se}) \quad [10]$$

Em que:

$q$  – Quantidade de calor transferido por convecção (W);

$\lambda$  – Condutividade térmica (W/(m<sup>2</sup>K));

$A$  – área de transferência de calor (m<sup>2</sup>);

$e$  – Espessura (m);

$T_{se}$  – temperatura de parede exterior (K);

$T_{si}$  – temperatura de parede interior (K).

E que quantidade de calor transferido por convecção na parede interior e exterior é a seguinte:

$$q = hA(T_{se} - T_e) \quad [11]$$

Em que:

$q$  – Quantidade de calor transferido por convecção (W);

$\lambda$  – Condutividade térmica (W/(m<sup>2</sup>K));

$A$  – área de transferência de calor (m<sup>2</sup>);

$T_{se}$  – temperatura de parede exterior (K);

$T_e$  – temperatura do ambiente (K);

Sabendo que  $h=8.1$  W/(m<sup>2</sup>K) e registrando as temperaturas em estado estacionário, pode-se determinar o calor transferido por convecção e a condutividade térmica,  $\lambda$ , (27).

## Capítulo 4

### ANÁLISE DE RESULTADOS

#### 4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados e analisados todos os resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos constituintes das argamassas e nos ensaios das argamassas no estado fresco e endurecido. Assim pretende-se analisar os valores obtidos comparando-os com resultados obtidos anteriormente por colegas em anos letivos anteriores e com valores de campanhas experimentais apresentadas no capítulo 2, analisando-se deste modo a viabilidade de aplicação de resíduos plásticos em argamassas.

#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

##### 4.2.1 Análise granulométrica

Os resultados da análise granulométrica dos agregados registaram-se na seguinte tabela:

Quadro 4.1 - Resultados da análise granulométrica das areias.

AF - areia fina					AG - areia grossa			
Massa(g) Total			500g		Massa(g) Total		300g	
Peneiros	Areia	% Retida	% Retido Acumulado	% Passado Acumulado	Areia	% Retida	% Retido Acumulado	% Passado Acumulado
8	0	0	0	100	1,33	0	0	100
5.6	0	0	0	100	11,09	4	4	96
4	0	0	0	100	20,87	7	11	89
2	0,48	0	0	100	63,96	21	33	67
1	75,82	15	15	85	69,26	23	56	44
0.5	184,6	37	52	48	69,78	23	79	21
0.25	146,6	29	82	18	45,03	15	94	6
0.125	76,61	15	97	3	14,20	5	99	1
0.063	13,93	3	100	0	3,21	1	100	0
P≤0.063	1,53	0	100	0	0,30	0	100	0



Após análise de todos os registos das pesagens dos retidos em cada peneiro, elaboram-se as curvas granulométricas das areias: AF, AG e areia de mistura 80% AF + 20% AG.

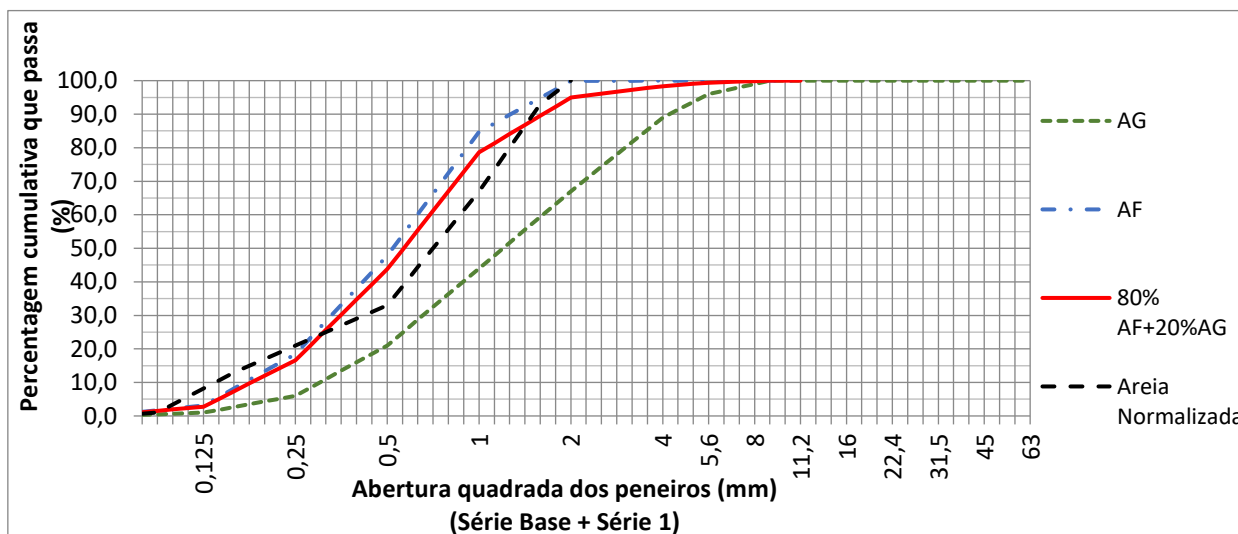


Figura 4.1 - Curvas granulométricas das areias AF, AG e areia de mistura (80%AF+20%AG)

Todas as curvas representadas na Figura 4.1 apresentam uma granulometria de agregado fino segundo a classificação do quadro 2 da norma NP EN 12620, quanto ao seu grau de finura baseado na percentagem de passados no peneiro 0.500 mm, segundo quadro A.2 da norma NP EN 13139 areia AF é um agregado fino de granulometria média (MP), areia AG é um agregado fino de granulometria grossa (CP) e areia mistura é um agregado fino de granulometria grossa (CP), Quadro 4.2.

Embora a curva granulométrica da areia mistura não se tenha aproximado muito da curva granulométrica da areia normalizada, têm ambas uma granulometria grossa, além disso as argamassas confeccionadas com esta areia de mistura na segunda campanha experimental apresentaram uma melhoria de trabalhabilidade, em relação às argamassas confeccionadas na primeira campanha experimental, na qual foi utilizada apenas a areia fina.

Quadro 4.2 - Grau de finura dos Agregados.

Percentagem de passados, em massa		
CP	MP	FP
5 a 45	30 a 70	55 a 100

Relativamente aos resíduos com e sem transformação, também foram feitas as suas análises granulométricas, e de seguida apresentam-se os resultados sobre a forma de quadro.

Quadro 4.3 - Análise granulométrica dos resíduos sem transformação.

	PET AMARELO				EVA				PET NATURAL				PVC			
	Massa (g) Total =500g				Massa (g) Total = 349,54g				Massa (g) Total = 310,63g				Massa (g) Total = 499,95g			
Peneiros	PET	% retidos	% retidos	% Passados	EVA	% retidos	% retidos	% Passados	PET NAT	% retidos	% retidos	% Passados	PVC	% retidos	% retidos	% Passados
			acumulados	acumulados			acumulados	acumulados			acumulados	acumulados			acumulados	acumulados
8	0	0	0	100	0	0	0	100,0	1,9	0,6	1	99,40	0	0	0	100,00
5,6	34,74	6,948	6,948	93,052	0	0,0	0	100,0	9,56	3,1	4	96,32	0,69	0,1	0	99,86
4	192,185	38,437	45,385	54,615	1,26	0,4	0	99,6	48,67	15,7	19	80,65	22,37	4,5	5	95,39
2	123,5	24,7	70,085	29,915	347,92	99,5	100	0,1	242,42	78,0	97	2,61	402,8	80,6	85	14,82
1	52,275	10,455	80,54	19,46	0,34	0,1	100	0,0	8	2,6	100	0,04	59,6	11,9	97	2,90
0,5	24,815	4,963	85,503	14,497	0,02	0,0	100	0,0	0,08	0,0	100	0,01	9,16	1,8	99	1,07
0,25	25,56	5,112	90,615	9,385	0	0,0	100	0,0	0	0,0	100	0,01	3,42	0,7	100	0,38
0,125	15,92	3,184	93,799	6,201	0	0,0	100	0,0	0	0,0	100	0,01	1,66	0,3	100	0,05
0,063	14,555	2,911	96,71	3,29	0	0,0	100	0,0	0	0,0	100	0,01	0,24	0,0	100	0,00
P≤0.063	16,45	3,29	100	0	0	0,0	100	0,0	0	0,0	100	0,01	0,01	0,0	100	0,00





Após análise granulométrica, traçou-se as suas curvas granulométricas ( Figura 4.2), PETN e EVA têm uma granulometria entre 2,0 e 5,6 mm, PVC tem uma granulometria compreendida entre 1,0 e 5,6 mm PET amarelo, já têm uma amplitude maior compreendida entre 0,0 e 8,0mm podendo classificá-lo como agregado natural 0/8 ( $G_{NG90}$ ).

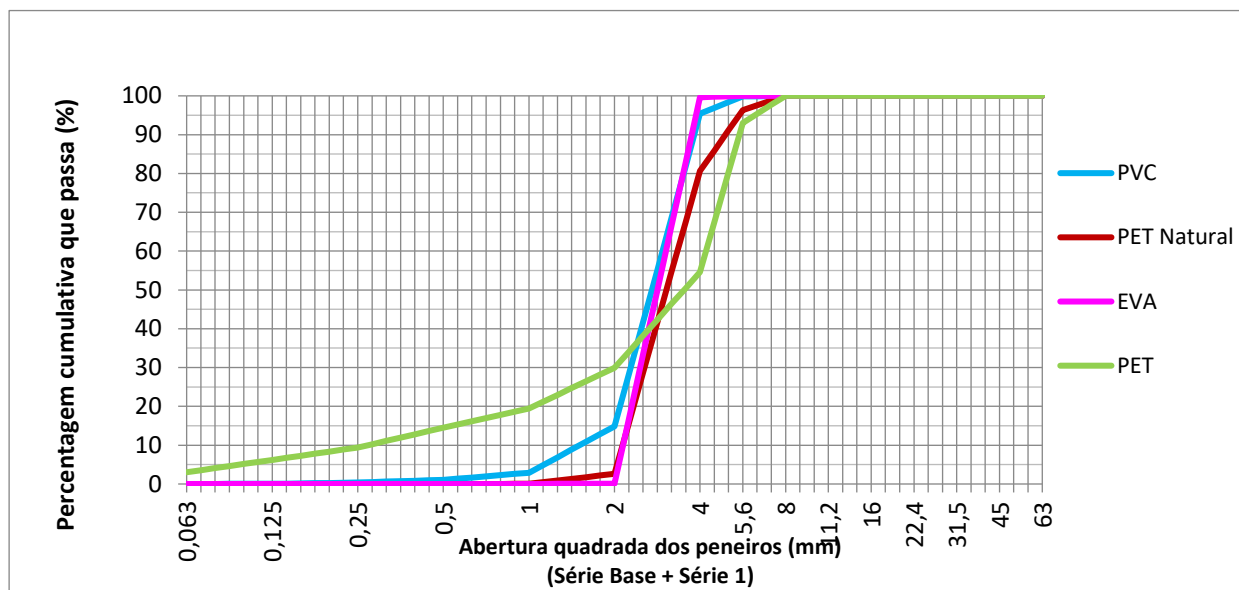


Figura 4.2 - Curvas Granulométricas dos Agregados.



Quadro 4.4 - Análise granulométrica dos resíduos moídos.

	PET AMARELO MOIDO				EVA MOIDO				PET NATURAL MOIDO			
	Massa (g) Total = 24,035g				Massa (g) Total = 24,540g				Massa (g) Total = 24,264g			
Peneiros	PET	% retidos	% retidos acumulados	% Passados acumulados	EVA	% retidos	% retidos acumulados	% Passados acumulados	PET NAT	% retidos	% retidos acumulados	% Passados acumulados
8	0	0,00	0,00	100,00	0	0,00	0	100,00	0	0,00	0	100,00
5,6	0	0,00	0,00	100,00	0	0,00	0,00	100,00	0	0,00	0,00	100,00
4	1,03	4,30	4,30	95,70	14,64	59,67	59,67	40,33	0	0,00	0,00	100,00
2	7,07	29,43	33,73	66,27	8,78	35,78	95,45	4,55	7,97	32,86	32,86	67,14
1	12,41	51,62	85,35	14,65	0,722	2,94	98,39	1,61	15,27	62,95	95,80	4,20
0,5	2,63	10,96	96,31	3,69	0,395	1,61	100,00	0,00	0,90	3,70	99,51	0,49
0,25	0,70	2,91	99,22	0,78	0,00	0,00	100,00	0,00	0,12	0,49	100,00	0,00
0,125	0,19	0,78	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
0,063	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
P≤0.063	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00



Após análise granulométrica, desenharam-se as suas curvas granulométricas (Figura 4.3), PETNM têm uma granulometria entre 0,25 e 4,0 mm, EVAM têm uma granulometria compreendida entre 0,5 e 5,6 mm já o PET amarelo tem uma amplitude maior compreendida entre 0,0 e 4,0mm podendo classifica-lo como agregado fino (G<sub>F85</sub>)

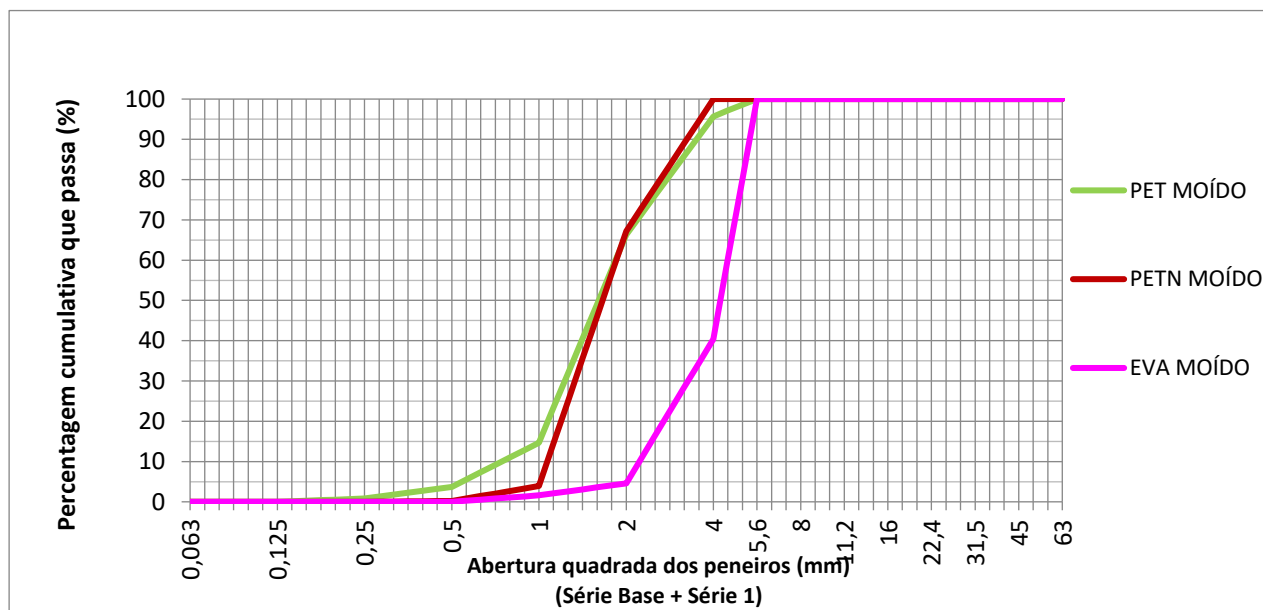


Figura 4.3 - Curvas Granulométricas dos Agregados moídos.

### 4.2.2 Baridade

Os valores registados para o cálculo da baridade das areias e dos resíduos plásticos estão apresentados no seguinte quadro:

Quadro 4.5 - Análise da baridade das areias e resíduos.

Areia Fina e Areia Grossa				
Material	volume cm <sup>3</sup>	Massa (g)	Baridade (Mg/m <sup>3</sup> )	Baridade (kg/m <sup>3</sup> )
Areia AF	950	1366,77	1,439	1439
Areia AG	950	1603,35	1,688	1688
Resíduos Plásticos				
Material	volume cm <sup>3</sup>	Massa (g)	Baridade (Mg/m <sup>3</sup> )	Baridade (kg/m <sup>3</sup> )
Pet Natural	950	715,61	0,753	753
Pet Amarelo	950	304,54	0,321	321
EVA	950	558,45	0,588	588
PVC	950	680,18	0,716	716

Resíduos Plásticos Moídos				
Material	volume cm <sup>3</sup>	Massa (g)	Baridade (Mg/m <sup>3</sup> )	Baridade (kg/m <sup>3</sup> )
Pet Natural Moído	20	14,98	0,016	16
Pet Amarelo Moído	20	7,20	0,008	8
EVA Moído	20	8,77	0,009	9

Após os valores registados procedeu-se á execução do gráfico.

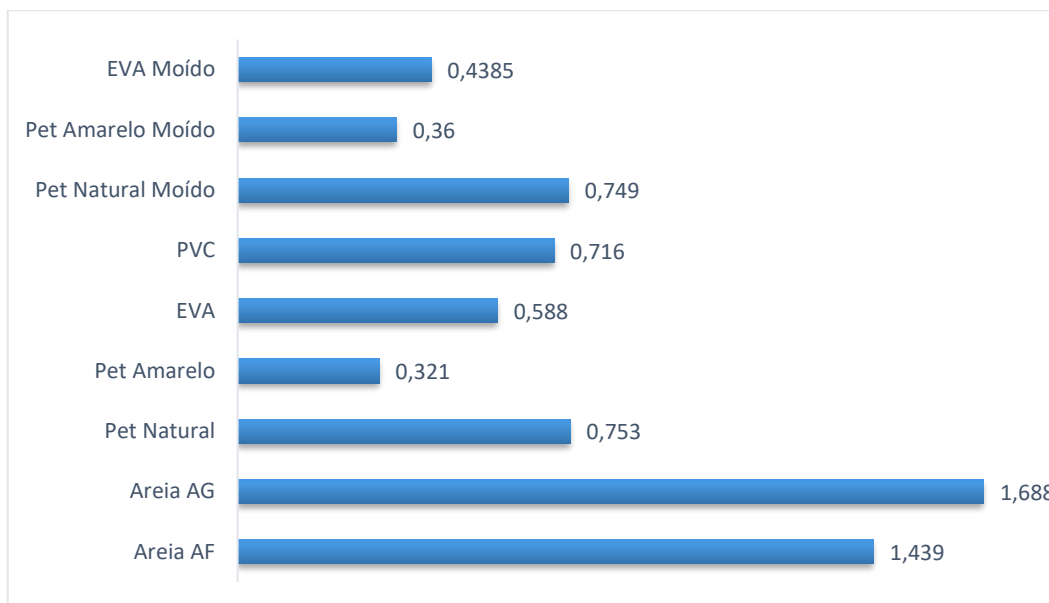


Figura 4.4 - Baridade dos Agregados

Como se verifica pela Figura 4.4 a baridade dos resíduos é bastante inferior á das areias, estas terão um maior volume de vazios. As argamassas com substituição parcial de resíduos plásticos moídos será uma argamassa mais leve por os resíduos de plástico apresentarem uma baridade mais baixa.

O PET Amarelo, tanto normal como moído, obtém valores mais baixos devido a este resíduo apresentar uma forma irregular e achatada ao contrário dos outros resíduos em estudo que apresentam uma forma uniforme e arredondada.

A compacidade dos resíduos é menor do que a das areias, logo a sua resistência mecânica será menor, pois esta é proporcional a compacidade.

### 4.3 ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

#### 4.3.1 Trabalhabilidade

No processo da realização deste ensaio, foram registados os diâmetros de espalhamento de cada uma das argamassas em cada campanha e anotadas no Quadro 4.6 e Quadro 4.7, assim como os seus diâmetros médios. A partir da **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** e **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** seguintes tiram-se algumas conclusões.



Quadro 4.6 - Resultados da trabalhabilidade da 1ª campanha.

Argamassa	d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)	d (mm)	Desvio padrão
AC1	164	165	165	164,7	0,58
APET10	155	152	154	153,0	1,41
APET20	129	133	132	131,3	2,08
APVC10	154	157	155	155,3	1,53
APN10	158	157	157	157,0	0,58
AEVA10	154	155	153	154,0	1,00

Quadro 4.7 - Resultados da trabalhabilidade da 2ª campanha.

Argamassa	d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)	d (mm)	Desvio padrão
AC2	148	151	152	150,3	2,08
APET7,5	138	140	142	140,0	1,41
APETM7,5	125	130	132	129,0	2,52
APN7,5	156	158	160	158,0	2,08
APNM7,5	165	168	170	167,7	1,15
AEVA7,5	160	164	163	162,3	2,00
AEVAM7,5	142	140	140	140,7	3,61

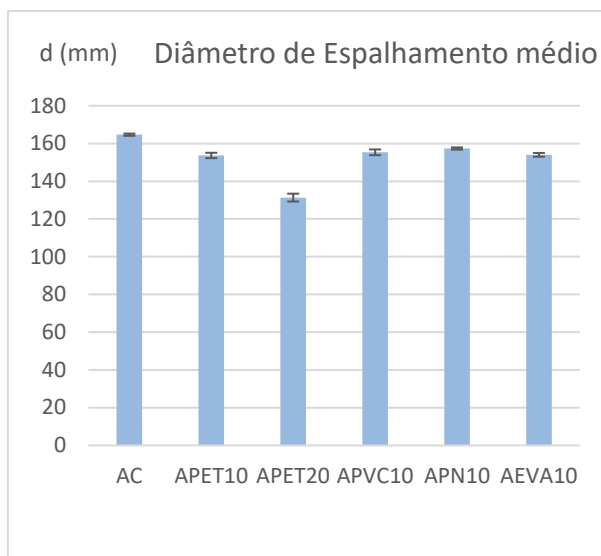


Figura 4.5 - Diâmetro de Espalhamento da 1ª campanha.

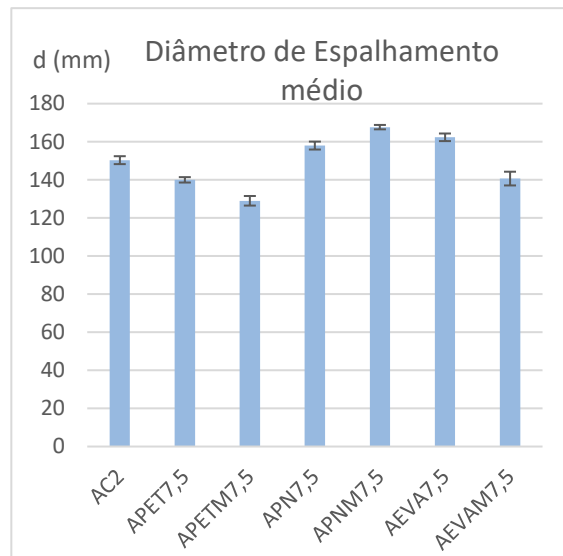


Figura 4.6 - Diâmetro de Espalhamento da 2ª campanha.

As argamassas da 1ª campanha experimental têm valores de espalhamento menores que as da 2ª campanha experimental, julga-se que tal facto se deve possivelmente pela areia utilizada, AF, comprometendo as amassaduras, sendo necessário adicionar adjuvante para que todas as amassaduras tivessem trabalhabilidades o mais idênticas possível, só que o adjuvante adicionado foi o “licor negro”.

Contudo verifica-se que aumentando a taxa de percentagem de resíduo plástico a trabalhabilidade da argamassa diminui. Estes resultados não estão coerentes com o estudo de Silva 2014 (28), mas com estudos mais recentes, nomeadamente Pereira e silveira 2017 (21) e Dias e Silva 2018 (29) encontra-se resultados similares.



Figura 4.7 - Argamassa AC1 – Ensaio de mesa de espalhamento

No aspeto de melhorar a trabalhabilidade das argamassas, foi ponderado uma moagem dos resíduos, e assim reajustar as partículas para que estas conseguissem uma melhor adesão entre a pasta cimentícia e o resíduo plástico.

Constatando que apenas as argamassas confeccionadas com o resíduo PET natural moído (PETNM) é que tiveram um melhoramento da trabalhabilidade, apresentando valores superiores ao da argamassa de controlo, Figura 4.7.

#### 4.3.2 Massa volúmica

Encontra-se no Quadro 4.8 e Quadro 4.9 os valores obtidos para o cálculo da massa volúmica de argamassas frescas, e com esses valores elaborou-se um gráfico e comparou-se os resultados obtidos entre as argamassas com os resíduos moídos e não moídos.

Quadro 4.8 - Resultados do ensaio da massa volúmica da 1ª campanha.

Argamassa	peso do molde (g)	peso molde + argamassa (g)	Massa Volúmica (g/cm <sup>3</sup> )
AC1	7968	9446	1,924
APET10	10884	12094	1,576
APET20	10996	12124	1,469
APVC10	7968	9156	1,547
APN10	10996	12114	1,456
AEVA10	10884	11976	1,422

Quadro 4.9 - Resultados do ensaio da massa volúmica da 2ª campanha

Argamassa	peso do molde (g)	peso molde + argamassa (g)	Massa Volúmica (g/cm <sup>3</sup> )
AC2	10996	12726	2,253
APET7,5	10998	12710	2,229
APETM7,5	11970	13628	2,159
APN7,5	10996	12646	2,148
APNM7,5	10878	12586	2,224
AEVA7,5	7970	9598	2,120
AEVAM7,5	12040	13620	2,057

Como se pode ver pela Figura 4.8 os valores da massa volúmica das argamassas com resíduos é superior em relação aos valores das argamassas com resíduos moídos á exceção do APN7,5. Além disso verifica-se quando aumenta o teor de substituição de areia por resíduo plástico a massa volúmica diminui.

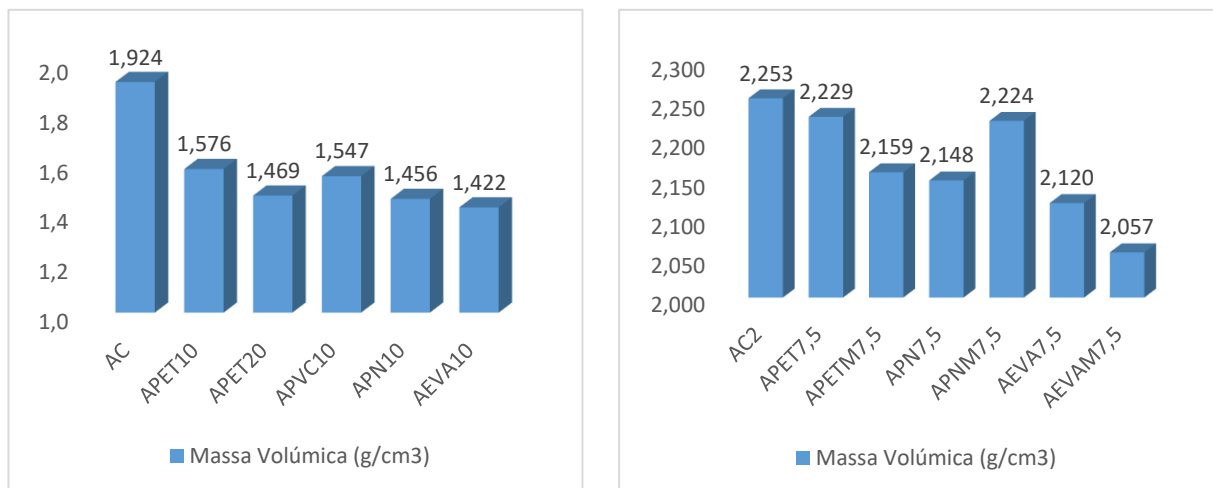


Figura 4.8 - Massa volúmica da 1ª e 2ª campanhas.

## 4.4 ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

### 4.4.1 Massa volúmica

Todas argamassas com resíduos plásticos têm valores de massa volúmica inferiores aos da argamassa de controlo, nas duas campanhas experimentais, como se observa no Quadro 4.10.

Consoante se aumenta a percentagem de resíduo plástico a massa volúmica diminui, o que é favorável em termos de massa estrutural.

As argamassas com resíduos plásticos moídos também diminuem de massa volúmica com exceção da argamassa com PET natural moído.

Quadro 4.10 - Resultados do ensaio da massa volúmica da 1ª e 2ª campanhas.

1ª Campanha Experimental		2ª Campanha Experimental	
Massa Volúmica		Massa Volúmica	
Argamassa	Massa Volúmica (g/cm <sup>3</sup> )	Argamassa	Massa Volúmica (g/cm <sup>3</sup> )
AC1	1,955	AC2	2,256
APET10	1,669	APET7,5	2,211
APET20	1,348	APETM7,5	2,155
APVC10	1,641	APN7,5	2,151
APN10	1,585	APNM7,5	2,209
AEVA10	1,533	AEVA7,5	2,133
		AEVAM7,5	2,073

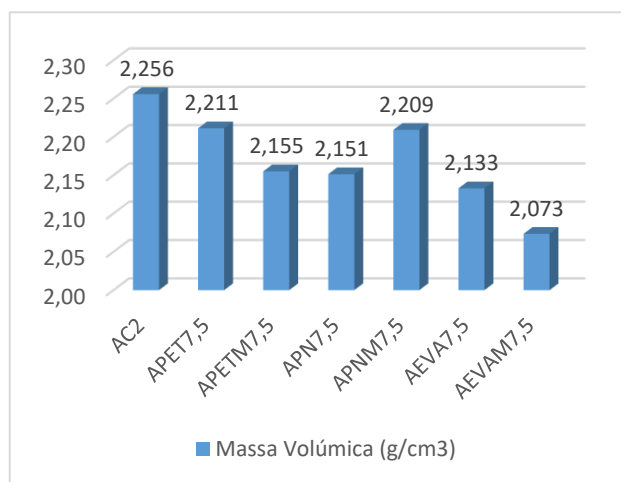
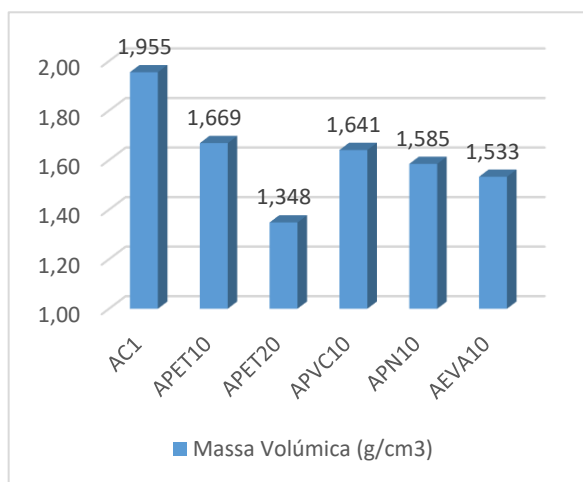


Figura 4.9 - Massa volúmica da 1ª e 2ª campanhas.

#### 4.4.2 Resistência à flexão e à compressão

Os ensaios de resistência à compressão e à flexão foram feitos respetivamente ao 28 e 63 dias, os resultados detalhados obtidos podem ser consultados na Quadro 4.11.

Com estes resultados foram obtidos os gráficos seguintes (Figura 4.10), com os valores médios da resistência à flexão e à compressão de cada argamassa.

Quadro 4.11 - Resultados dos ensaios de compressão e flexão da 1ª campanha.

ARGAMASSA	Provete	Massa (g)	Massa Volumica (g/cm3)	Tensão de Flexão (Mpa)	Tensão Média á Flexão (Mpa)	Desvio Padrão		Resistência à compressão (Kpa)		Tensão Média Á Compressão (Mpa)	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
							Coeficiente de variação	Esquerda	Direita			
AC	AC1-1	504,6	1,971	6,00	6,05	0,071	1.17	27,70	27,20	26,98	0,82	3.03
	AC1-2	496,2	1,938	6,10				27,20	25,80			
APET10	AP10-1	428	1,672	2,90	2,83	0,115	4.08	10,40	10,80	10,37	0,38	3.69
	AP10-2	426,6	1,666	2,70				10,00	9,90			
	AP10-3	427	1,668	2,90				10,30	10,80			
APET20	AP20-1	340,2	1,329	0,50	0,55	0,071	12.86	0,50	0,60	0,50	0,08	16.33
	AP20-2	350,1	1,368	0,60				0,50	0,40			
APVC10	APVC10-1	422,4	1,650	0,68	0,64	0,057	8.84	0,60	-	0,60	0,35	57.73
	APVC10-2	417,8	1,632	0,60				0,60	-			
APN10	APN10-1	407,4	1,591	0,70	0,65	0,071	10.88	0,60	-	0,50	0,30	60
	APN10-2	404	1,578	0,60				0,40	-			
AEVA10	AEVA10-1	386,8	1,511	0,60	0,60	0,000	0	0,40	-	0,45	0,26	58.44
	AEVA10-2	398,1	1,555	0,60				0,50	-			

Quadro 4.12 - Resultados dos ensaios de compressão e flexão da 2ª campanha.

ARGAMASSA	Provete	Massa (g)	Massa Volúmica (g/cm³)	Tensão de Flexão (Mpa)	Tensão Média á Flexão (Mpa)	Desvio Padrão	Coeficiente de variação	Resistência à compressão (Kpa)		Tensão Média Á Compressão (Mpa)	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
								Esquerda	Direita			
AC2	AC2-1	583,4	2,279	7,90	8,23	0,493	5.99	39,30	42,60	45,48	3,76	8.27
	AC2-2	582,4		8,80				47,00	46,60			
	AC2-3	571,6	2,233	8,00				48,80	48,60			
APN7,5	APN7,5_1	545,2	2,130	5,20	6,07	0,850	14.02	34,90	32,00	37,63	3,44	9.14
	APN7,5_2	552,4	2,158	6,90				40,30	40,60			
	APN7,5_3	554,6	2,166	6,10				38,60	39,40			
APNM7,5	APNM7,5_1	561,4	2,193	8,00	7,37	0,551	7.48	38,80	38,80	42,80	3,16	7.39
	APNM7,5_2	568,0	2,219	7,10				45,70	45,30			
	APNM7,5_3	567,2	2,216	7,00				44,10	44,10			
AEVA7,5	AEVA7,5_1	542,6	2,120	4,30	5,83	1,361	23.34	26,50	21,70	31,03	5,82	18.76
	AEVA7,5_2	545,0	2,129	6,30				36,50	33,30			
	AEVA7,5_3	550,4	2,150	6,90				32,10	36,10			
AEVAM7,5	AEVAM7,5_1	529,4	2,068	5,90	6,23	0,306	4.90	25,80	26,60	29,57	2,72	9.20
	AEVAM7,5_2	532,0	2,078	6,30				30,30	32,40			
	AEVAM7,5_3	531,0	2,074	6,50				30,70	31,60			
APET7,5	APET7,5_1	564,6	2,205	6,70	6,37	0,351	5.52	30,30	29,40	34,67	3,79	10.92
	APET7,5_2	570	2,227	6,00				36,60	38,20			
	APET7,5_3	563,6	2,202	6,40				36,70	36,80			
APETM7,5	APETM7,5_1	547,2	2,138	6,20	6,37	0,289	4.53	32,60	31,10	36,02	3,34	9.26
	APETM7,5_2	553,4	2,162	6,70				37,70	39,20			
	APETM7,5_3	554,4	2,166	6,20				38,40	37,10			

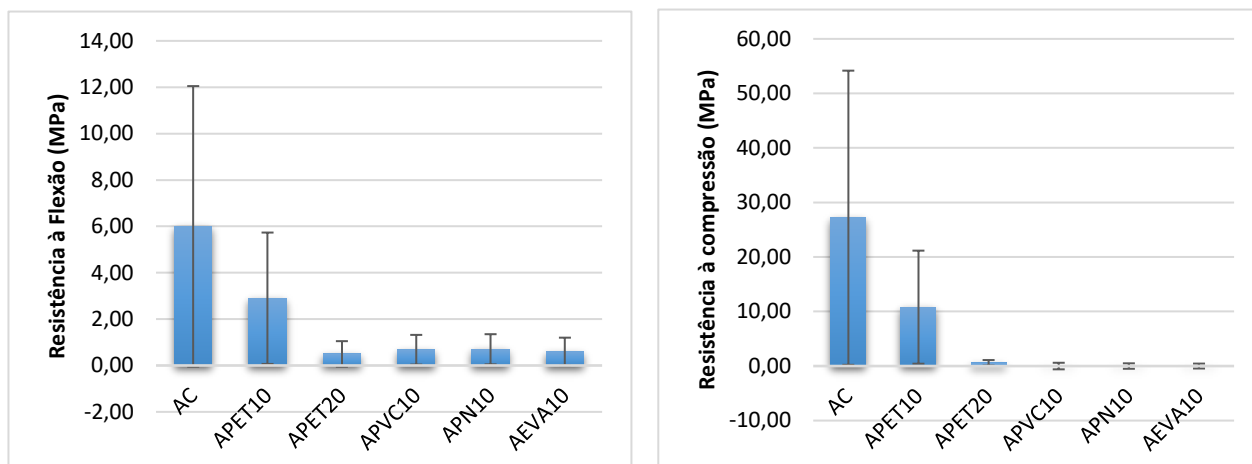


Figura 4.10 - Resultados da resistência à flexão e à compressão da 1ª Campanha, respetivamente.

Na 1ª campanha no ensaio de compressão verificou-se que os resultados não foram muito explícitos, isto deve-se pelo facto da areia utilizada ter uma granulometria mais fina, e devido ao adjuvante licor negro, o mesmo acontece no ensaio da flexão (os provetes desintegravam-se). Em relação ao APET10 deu um resultado mais razoável em relação às outras argamassas com resíduos plásticos, possivelmente pelas dimensões das partículas deste resíduo, ou seja, por estas terem uma forma irregular e as partículas serem mais achatadas em relação às partículas dos outros resíduos tendo um comportamento parecido a uma fibra (Figura 4.11), este impede que o provete quebre totalmente conferindo uma maior elasticidade.



Figura 4.11 - Provetes com PET Amarelo após o ensaio da flexão.



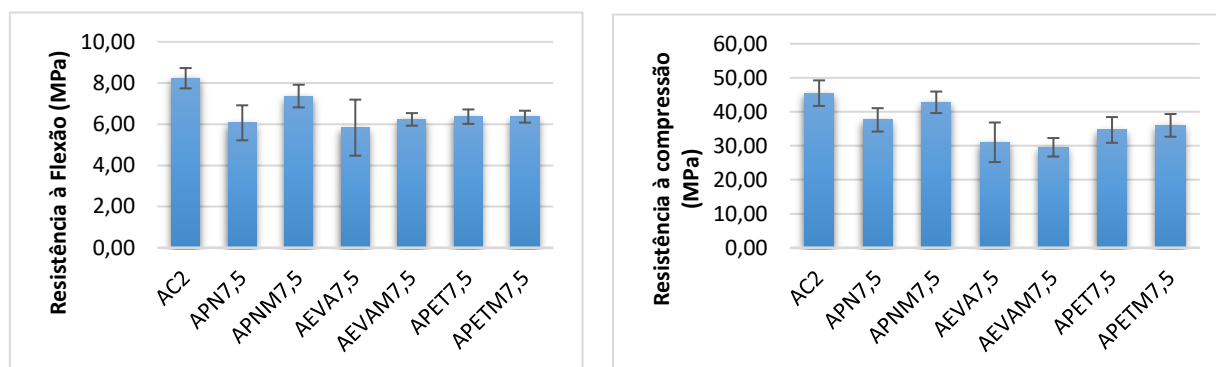


Figura 4.12 - Resultados da resistência à flexão e à compressão da 2ª Campanha, respetivamente.

Na 2ª campanha os valores já foram mais coerente, Quadro 4.12, os valores das resistências mecânicas das argamassas com resíduos plásticos foram inferiores aos da argamassa de referencia (AC2) isto deve se possivelmente ao facto de os resíduos serem impermeáveis que consequentemente dificultam a união entre a pasta cementícia e os agregados, o que leva a uma menor resistência. Os estudos de Silva 2014 (28) justifica-se com base noutros estudos, (43) que defendem que essa diminuição também advém da dificuldade dessa fraca união.

Apesar de não ser tao visível, pelo facto de na primeira campanha os resultados não terem sido coesos, ainda assim com a APET10 dá para verificar que com a diminuição da taxa de resíduos a resistência aumenta, resultados que estão de acordo com os estudos efetuados em 2017 e 2018 pelos alunos do ISEP. (28), (29), (24), (19).

Comparando os valores das resistências mecânicas das argamassas com resíduos plásticos moídos com as argamassas com resíduos plásticos por moer, mas com a mesma percentagem de resíduo, constata-se que argamassas com resíduos de origem PET moído apresentam melhores resultados, isto deve-se ao facto de os resíduos moídos terem um menor volume de vazios.

Este efeito não se verifica no caso da argamassa com resíduo EVA. Uma possível justificação para tal acontecimento, será por este resíduo, ao ser moído, pela temperatura que o moinho atinge na moagem, estes sofrem uma alteração física e química, onde os cristais ficam agregados uns aos outros não se reajustando entre eles criando maior número de vazios.

#### 4.4.3 Absorção de água por capilaridade

No Quadro 4.13 e Quadro 4.14 podem-se consultar os valores detalhados deste ensaio.

Quadro 4.13 - Resultado do ensaio de absorção de água da 1ª campanha.

AC			APET10			APVC10			APN10			AEVA10		
Peso no tempo (g)	mg/mm <sup>2</sup>	vt	Peso no tempo (g)	mg/mm <sup>2</sup>	vt	Peso no tempo (g)	mg/mm <sup>2</sup>	vt	Peso no tempo (g)	mg/mm <sup>2</sup>	vt	Peso no tempo (g)	mg/mm <sup>2</sup>	vt
466,38	466,380	0,000	0,000	340,220	0,000	0,000	359,440	12,013	0,000	337,070	0,000	0,000	307,270	0,000
467,21	467,210	0,519	2,236	346,110	3,681	2,236	360,730	12,819	2,236	338,790	1,075	2,236	310,230	1,850
467,61	467,610	0,769	3,162	347,500	4,550	3,162	361,350	13,206	3,162	339,730	1,663	3,162	311,520	2,656
468,21	468,210	1,144	4,472	349,670	5,906	4,472	362,180	13,725	4,472	341,130	2,538	4,472	313,340	3,794
468,6	468,600	1,388	5,477	351,200	6,862	5,477	362,770	14,094	5,477	342,250	3,238	5,477	314,660	4,619
469,59	469,590	2,006	7,746	354,460	8,900	7,746	364,260	15,025	7,746	344,600	4,706	7,746	317,290	6,263
470,3	470,300	2,450	9,487	356,870	10,406	9,487	365,400	15,738	9,487	346,280	5,756	9,487	319,310	7,525
470,85	470,850	2,794	10,954	358,760	11,588	10,954	366,370	16,344	10,954	347,750	6,675	10,954	320,990	8,575
471,74	471,740	3,350	13,416	361,830	13,506	13,416	368,020	17,375	13,416	349,910	8,025	13,416	323,480	10,131
472,4	472,400	3,762	15,492	364,230	15,006	15,492	369,410	18,244	15,492	351,500	9,019	15,492	325,490	11,388
472,66	472,660	3,925	16,432	365,240	15,638	16,432	370,060	18,650	16,432	352,470	9,625	16,432	326,130	11,788

Quadro 4.14 - Resultado do ensaio de absorção de água da 2ª campanha.

AC2			APET 7,5			APETM 7,5			APN 7,5			APNM 7,5			AEVA 7,5			AEVAM 7,5		
Peso no tempo (g)	mg/mm <sup>2</sup>	vt	Peso no tempo (g)	mg/mm <sup>2</sup>	vt	Peso no tempo (g)	mg/mm <sup>2</sup>	vt	Peso no tempo (g)	mg/mm <sup>2</sup>	vt	Peso no tempo (g)	mg/mm <sup>2</sup>	vt	Peso no tempo (g)	mg/mm <sup>2</sup>	vt	Peso no tempo (g)	mg/mm <sup>2</sup>	vt
544,02	0,00	0,00	527,77	0,00	0,00	510,39	0,00	0,00	506,82	0,00	0,00	525,62	0,00	0,00	504,31	0,00	0,00	493,50	0,00	0,00
544,66	0,40	2,24	528,52	0,47	2,24	511,10	0,44	2,24	507,82	0,63	2,24	526,40	0,49	2,24	505,31	0,63	2,24	494,25	0,47	2,24
545,02	0,63	3,16	528,79	0,64	3,16	511,39	0,63	3,16	508,20	0,86	3,16	526,76	0,71	3,16	505,72	0,88	3,16	494,55	0,66	3,16
545,42	0,87	4,47	529,25	0,93	4,47	511,78	0,87	4,47	508,78	1,22	4,47	527,25	1,02	4,47	506,28	1,23	4,47	494,93	0,89	4,47
545,74	1,08	5,48	529,52	1,09	5,48	512,06	1,04	5,48	509,25	1,52	5,48	527,67	1,28	5,48	506,79	1,55	5,48	495,35	1,16	5,48
546,59	1,61	7,75	530,22	1,53	7,75	512,72	1,46	7,75	510,23	2,13	7,75	528,62	1,88	7,75	507,67	2,10	7,75	495,98	1,55	7,75
547,18	1,97	9,49	530,75	1,86	9,49	513,20	1,76	9,49	510,93	2,57	9,49	529,28	2,29	9,49	508,32	2,51	9,49	496,45	1,84	9,49
547,66	2,27	10,95	531,18	2,13	10,95	513,55	1,97	10,95	511,50	2,93	10,95	529,84	2,64	10,95	508,82	2,82	10,95	496,91	2,13	10,95
548,47	2,78	13,42	531,83	2,54	13,42	514,14	2,34	13,42	512,38	3,48	13,42	530,70	3,18	13,42	509,60	3,31	13,42	497,62	2,58	13,42
549,13	3,19	15,49	532,39	2,89	15,49	514,70	2,69	15,49	513,11	3,93	15,49	531,43	3,63	15,49	510,28	3,73	15,49	498,28	2,99	15,49
549,40	3,36	16,43	532,63	3,04	16,43	514,91	2,82	16,43	513,41	4,12	16,43	531,73	3,82	16,43	510,52	3,88	16,43	498,56	3,16	16,43

Com este ensaio calculou-se o coeficiente de absorção dos provetes comparando-os entre eles verificando o que pode comprometer as diferentes taxas de resíduos e a diferença de dimensões das partículas de resíduo plástico Figura 4.13.

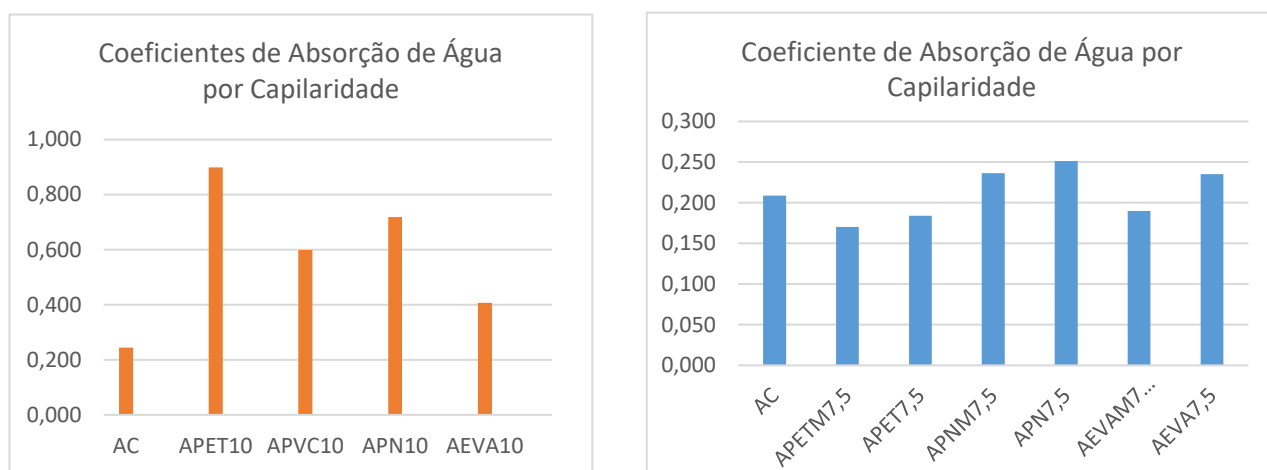


Figura 4.13 - Coeficientes de absorção das argamassas da 1ª e da 2ª campanha experimental respetivamente.

Neste estudo o ideal é obter um coeficiente de absorção baixo, e como se pode verificar pelos gráficos com a diminuição da taxa de resíduos diminui o coeficiente de absorção.

Avaliando os resultados obtidos das argamassas com resíduos moídos, estes apontam valores inferiores ao não moídos, o que vai ao encontro do pretendido, ou seja, o menor coeficiente de absorção possível.

No Anexo I encontram-se os gráficos com o traçado de obtenção dos coeficientes de absorção.

#### 4.4.4 Ensaio de Arrancamento (Pull-Off)

A análise do ensaio de Pull-Off tende a avaliar a aderência que uma argamassa pode ter. Neste caso estudou-se apenas resíduos com uma taxa de 10%, devido ao prazo reduzido na preparação deste ensaio. No Quadro 4.15 encontram-se os resultados detalhados deste ensaio.

Quadro 4.15 - Resultados do ensaio de arrancamento (Pull Off).

Argamassa	Área da pastilha circular	Dimensões dos lados (cm)				Área da pastilha quadrada	F	$\sigma_{equi.}$	$\sigma_{Cir.}$	$\sigma_{circ.média}$	DESVIO PADRÃO
	mm <sup>2</sup>	a	b	c	d	mm <sup>2</sup>	N	MPa	MPa	Mpa	
AC1	1963	75	75	73	84	5891	1064	0,18	0,06	0,055	0,008
AC1	1963	73	82	73	80	5929	885	0,15	0,05		
APET10	1963	56	79	53	77	4389	252	0,06	0,03	0,024	0,003
APET10	1963	54	76	52	72	4032	179	0,04	0,02		
APVC10	1963	80	78	78	80	6241	256	0,04	0,01	0,019	0,008
APVC10	1963	78	78	77	80	6123	467	0,08	0,02		
APN10	1963	78	72	77	70	5513	303	0,05	0,02	0,020	0,001
APN10	1963	70	84	70	82	5852,25	369	0,06	0,02		
AEVA10	1963	81	78	77	78	6162,25	592	0,10	0,03	0,035	0,006
AEVA10	1963	79	77	78	77	6045,06	722	0,12	0,04		

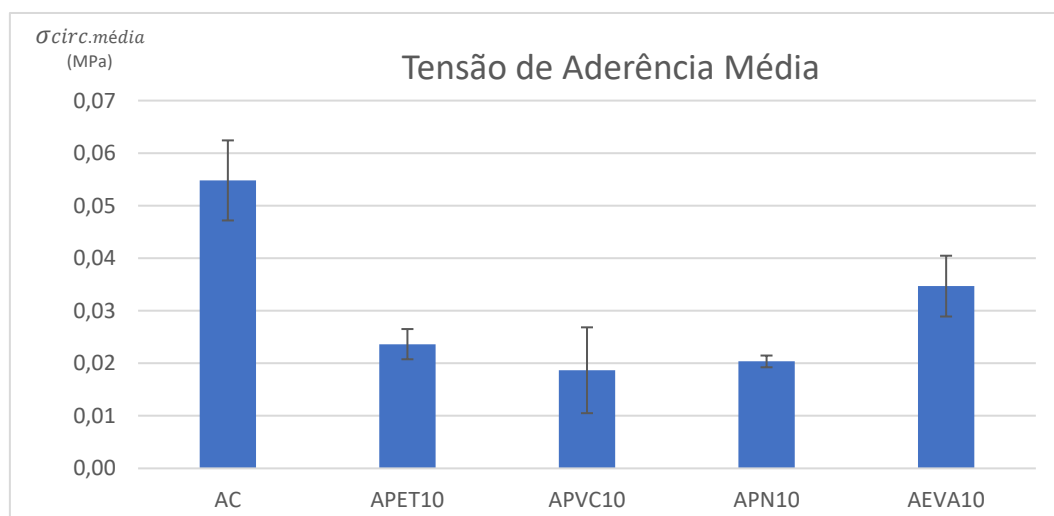


Figura 4.14 - Valores médios da tensão de Aderência

Pela análise da Figura 4.14 - Valores médios da tensão de AderênciaFigura 4.14, em relação à argamassa de controle, conclui-se que a incorporação de resíduos diminui a aderência em 56%, 65%, 64% e 36%, para APET10, APVC10, APN10 e AEVA10 respectivamente.

Dado que, os resultados dos ensaios de resistência à compressão e à flexão não foram significativos por motivos já mencionados anteriormente, era previsível que este ensaio não desse valores aceitáveis, no entanto todos os provetes apresentaram rotura coesiva pela argamassa, Figura 4.15, o que demonstra que devem efetuar mais ensaios.

Argamassas	AC	APET10	APVC10	APN10	AEVA10
Tipo de aderência	Coesiva pela argamassa	Coesiva pela argamassa	Coesiva pela argamassa	Coesiva pela argamassa	Coesiva pela argamassa



Figura 4.15 - Tipo de rotura no ensaio

#### 4.4.5 Coeficiente de condutibilidade térmica

De acordo com o Quadro 4.16 e Figura 4.16, é de notar que os resultados das argamassas com uma taxa de resíduos plásticos melhoram o seu comportamento térmico em relação a argamassa de controlo.

Quadro 4.16 - Resultados obtidos no ensaio da condutividade térmica.

Placa	Identificação placa	Termopares	te	tsi	tse	q	Rplaca	e	$\lambda$	$\lambda_{med}$	Desvio padrão
1	AC1	T1 / T2	23,50	49,00	44,50	161,54	0,028	0,015	<b>0,538</b>	0,430	0,153
		T3 / T4	23,50	50,00	43,00	150,00	0,047	0,015	<b>0,321</b>		
2	AEVA10	T5 / T6	23,50	50,00	40,00	126,92	0,079	0,015	<b>0,190</b>	0,156	0,048
		T7 / T8	23,50	57,50	41,00	134,62	0,123	0,015	<b>0,122</b>		
3	APVC10	T9 / T10	23,50	53,50	42,00	142,31	0,081	0,015	<b>0,186</b>	0,205	0,027
		T11 / T12	23,50	50,00	41,00	134,62	0,067	0,015	<b>0,224</b>		
4	APN10	T13 / T14	23,50	61,50	42,50	146,15	0,130	0,015	<b>0,115</b>	0,127	0,017
		T15 / T16	23,50	55,50	41,00	134,62	0,108	0,015	<b>0,139</b>		

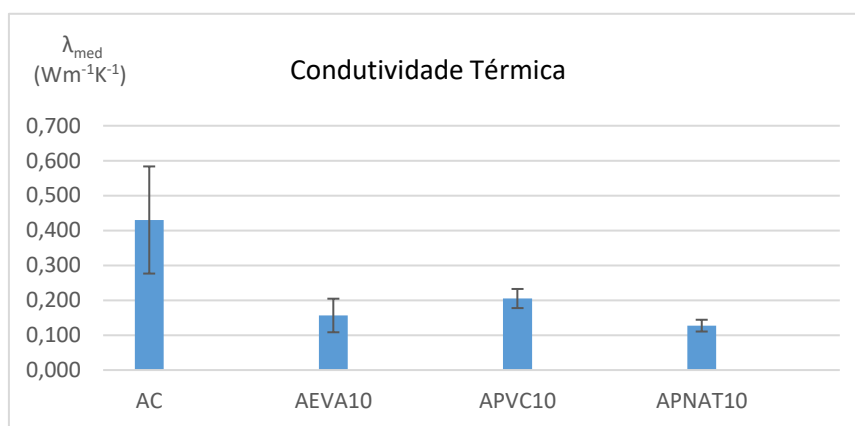


Figura 4.16 - Valores médios da condutibilidade térmica.

Relativamente a este ensaio, nunca realizado pelos alunos de Engenharia Civil do ISEP na aplicação de resíduos em argamassas, não existem possíveis comparações dificultando a análise deste resultado. Podemos apenas concluir que a utilização de resíduos melhora o comportamento térmico, visto que quanto menor for a condutibilidade térmica do material maior é a sua resistência térmica, favorecendo assim a capacidade térmica da argamassa. Argamassa APNAT10 é a que apresenta melhores resultados, o que está de acordo com um estudo apresentado pelo Leonardo Monteiro em 2017, no qual a incorporação de PET nas argamassas melhora o comportamento das mesmas quanto ao isolamento térmico.

## Capítulo 5

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

#### 5.1 CONCLUSÃO

A realização desta dissertação serviu para adquirir um conhecimento mais aprofundado sobre as características das argamassas com incorporação de resíduos plásticos promovendo a sua aplicação na indústria da construção civil, cumprindo assim o objetivo principal deste trabalho.

Concluindo que na primeira campanha experimental devido a areia utilizada ser demasiado fina, como vimos na análise de resultados, em que estes não se apresentavam explícitos nem viáveis, foi necessário recorrer a uma outra campanha experimental com outros materiais. Nesta última obtiveram-se valores razoáveis apesar de haver uma diminuição percentual em relação à argamassa de controlo. A seguir apresenta-se o Quadro 5.1 onde sintetizam os resultados dos ensaios efetuados com incorporação de resíduos, relacionando-os com a argamassa de controlo.

Os valores negativos apresentados no quadro correspondem a uma diminuição percentual em relação à argamassa de controlo, o que em alguns ensaios favorece o comportamento das argamassas, como no ensaio da condutividade térmica e na absorção de água, já os positivos correspondem a um aumento em relação à argamassa de controlo.





Quadro 5.1 - Quadro síntese dos resultados.

	1ª Campanha						2ª Campanha						
Ensaio/Argamassa	AC1	APET10	APET20	APVC10	APN10	AEVA10	AC2	APET7,5	APETM7,5	APN7,5	APNM7,5	AEVA7,5	AEVAM7,5
<b>Massa Volúmica (g/cm3) Estado Fresco</b>	1,924	1,576	1,469	1,547	1,456	1,422	2,253	2,229	2,159	2,148	2,224	2,12	2,057
%	0	-18	-24	-20	-24	-26	0	-1	-4	-5	-1	-6	-9
<b>Massa Volúmica (g/cm3) Endurecido</b>	1,955	1,669	1,348	1,641	1,585	1,533	2,256	2,211	2,155	2,151	2,209	2,133	2,073
%	0	-15	-31	-16	-19	-22	0	-2	-4	-5	-2	-5	-8
<b>Ensaio da trabalhabilidade</b>	164,7	153	131,3	155,3	157	154	150,3	140	129	158	167,7	162,3	140,7
%	0	-7	-20	-6	-5	-6	0	-7	-14	+5	+12	+8	-6
<b>Ensaio de flexão</b>	6,05	2,83	0,55	0,64	0,65	0,6	8,23	6,37	6,37	6,07	7,37	5,83	6,23
%	0	-53	-91	-89	-89	-90	0	-23	-23	-26	-10	-29	-23
<b>Ensaio de Compressão</b>	26,98	10,37	0,5	0,6	0,5	0,45	45,48	34,67	36,02	37,63	42,8	31,03	29,57
%	0	-62	-98	-98	-98	-98	0	-24	-21	-17	-6	-32	-35
<b>Ensaio da capilaridade (coeficiente de absorção)</b>	0,244	0,899		0,599	0,718	0,407	0,209	0,184	0,17	0,251	0,236	0,235	0,19
%	0	+268		+145	+194	+67	0	-12	-19	+20	+13	+12	-9
<b>Ensaio de arrancamento " Pull Off"</b>	0,055	0,024		0,019	0,02	0,035							
%	0	-56		-65	-64	-36							
<b>Ensaio de Condutibilidade térmica</b>	0,43	0,318		0,205	0,127	0,156							
%	0			-52	-70	-64							

AC- Argamassa de controlo; APET- Argamassa com resíduo PET (20%,10% e 7,5%); APETM - Argamassa com resíduo PET moído (7,5%); APN- Argamassa com resíduo PET Natural (10% e 7,5%); APNM- Argamassa com resíduo PET Natural moído (7,5%); AEVA - Argamassa com resíduo EVA (10% e 7,5%); AEVAM - Argamassa com resíduo EVA moído (7,5%); APVC- Argamassa com resíduo PVC (10%).



Da análise do Quadro 5.1 chega-se às seguintes conclusões:

- Com o aumento da taxa de resíduo PET amarelo verifica-se uma diminuição da massa volúmica, tanto no estado endurecido como no estado fresco;
- Em geral a aplicação dos resíduos PET, PETN e EVA moídos proporciona também uma diminuição na massa volúmica;
- A resistência à flexão e à compressão são inferiores a argamassa de controlo e diminuem com o aumento da percentagem de resíduos adicionados. No caso das argamassas com resíduos moídos, estes apresentam uma melhoria na sua resistência em relação ao não moídos;
- No ensaio da capilaridade, observa-se que na primeira campanha, a argamassa com incorporação de resíduos teve um aumento elevado de coeficiente de absorção de água por capilaridade em relação à argamassa de controlo, isto como já referido, deve-se à utilização de uma areia de granulometria fina. Na segunda campanha os resultados foram mais satisfatórios, observando-se em geral uma diminuição do coeficiente de absorção de água por capilaridade em relação à argamassa de controlo. As argamassas com resíduos moídos apresentam uma melhoria em relação aos não moídos, por estes exibirem uma diminuição do coeficiente de absorção de água por capilaridade, consequência da diminuição do volume de vazios.
- O ensaio de arrancamento apesar só se ter conseguido realizar na 1ª campanha experimental, verifica-se que valores de resistência de aderência diminuírem em relação à argamassas de controle, no entanto argamassa AEVA apenas diminuiu 36% e todos os provetes apresentaram uma rotura coesiva.
- O ensaio da condutibilidade térmica também só foi possível realizar na 1ª campanha experimental, observando-se melhores resultados a nível de aproveitamento dos resíduos como agregados parciais das argamassas, ocorrendo uma diminuição superior a 50% nos coeficientes de condutibilidade térmica em relação aos da argamassa de controlo, o que proporciona uma maior resistência térmica.

Finalizando estas observações, em geral as argamassas com incorporação de resíduos, apresentam uma diminuição do comportamento às resistências à flexão, compressão e à aderência ao suporte. Em contrapartida, como vantagem deste estudo, denota-se uma melhoria significativa ao seu comportamento em termos da absorção de água e de resistência térmica.

Na sequência destas vantagens e derivado a uma diminuição da massa volúmica que confere uma argamassa mais leve, a aplicação deste tipo de argamassas será benéfica para revestimento de fachadas.

## 5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Depois de todo este estudo aprofundado sobre um importante tema que ajudara a manter o nosso meio ambiente saudável, o que mantém saudável a humanidade, deparou-se que haverá ainda muitos estudos para melhor viabilizar o comportamento dos resíduos plásticos na mistura com argamassa.

Não foi possível o estudo de mais variedades de percentagens devido ao escasso tempo, o que futuramente dever-se-á desenvolver mais casos com diferentes percentagens para melhorar compreensão desta adição de resíduos plásticos.

Futuramente alguns ensaios seriam uteis para aprofundar mais sobre este tema dos quais os seguintes:

- Resistência ao impacto ao choque;
- Resistência adesiva;
- Permeabilidade ao vapor de água;
- Permeabilidade à água no estado líquido;
- Envelhecimento;
- Retenção de água.

Contudo e já mencionado na conclusão, que o ensaio da térmica foi o que melhores resultados obteve, então seria expectável um aprofundamento do estudo deste ensaio, com incorporação de vários resíduos comparando o mais favorável, várias percentagens, várias granulometrias e ainda vários dias de cura, para além disso seria interessante estudar o envolvimento de resíduos em blocos térmicos.

Considerando a sua aplicação como revestimento deverá persistir-se na sua investigação de modo a viabilizar a mesma.

Como os resultados da utilização dos resíduos moídos foram os mais favoráveis, dever-se-á insistir num estudo mais aprofundado com uma trituração mais eficaz e com uma granulometria inferior a aplicada neste estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ambiente, APA - Agência Portuguesa do. rea.apambiente. *RESÍDUOS PRODUÇÃO E GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS*. [Online] 2019. [Citação: 10 de Setembro de 2019.]  
<https://rea.apambiente.pt/content/produ%C3%A7%C3%A3o-e-gest%C3%A3o-de-res%C3%AAduos-urbanos>.
2. Silva, Alexandra Constâncio Velez Marques da. *DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM INCORPORAÇÃO DE GREGADOS FINOS DE RESÍDUOS PLÁSTICOS SELECIONADOS*. Engenharia Civil, Técnico de Lisboa. 2014. Dissertação .
3. Porto, Instituto Superior de Engenharia do. "Agir Local, Pensar Global": Menos plástico, mais ambiente. *New ArchiveNews 2019*. [Online] [Citação: 10 de Setembro de 2019.]  
<https://www.isep.ipp.pt/New/ViewNew/5965>.
4. Portugal, AEP - Associação Empresarial de. Ficha Técnica dos Resíduos. Dezembro de 2011.
5. ASTM International, West Conshohocken, PA. ASTM D7611 / D7611M-19, Standard Practice for Coding Plastic Manufactured Articles for Resin Identification, DOI:10.1520/D7611\_D7611M-19. 2019.
6. Jornal Oficial da União Europeia, Decisão 97/129/CE. Sistema de identificação dos materiais de embalagem . 28 de Fevereiro de 1997.
7. Plastval. Plastval Melhor Ambiente. [Online] [Citação: 10 de outubro de 2019.]  
<http://www.plastval.pt/index.asp?info=reciclagem/identificacao>.
8. *Identificação de Polímeros*. DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS , UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO . São Paulo : s.n., 2012. 1ª Aula Prática .
9. Ambiente Brasil. [Online] 1999. [Citação: 10 de Outubro de 2019.]  
<https://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem.html>.
10. Almeida, Paula Maria Dias de Castro. *Reciclagem de Polímeros – Uma Abordagem em Contexto Escolar*. Área de Especialização em Física e Química , Universidade do Minho Escola de Ciências. 2012. Dissertação de Mestrado em Ciências – Formação Contínua de Professores.

11. Observador On Time, S.A. Observador. [Online] [Citação: 11 de Outubro de 2019.] <https://observador.pt/2018/06/05/mais-de-400-milhoes-de-toneladas-de-plasticos-produzidos-por-ano-so-9-sao-reciclados/>.
12. Agência Portuguesa do Ambiente, (APA). Estratégia Europeia sobre Plásticos. [Online] [Citação: 28 de Julho de 2019.] <http://apambiente.pt/?ref=x254>.
13. A. Rahimi. M. García. Chemical recycling of waste plastics for new materials production, Nat. Chem. Rev. 1, 0046. 2017.
14. Europeia, Comissão. *Uma Estratégia Europeia para os Plásticos na Economia Circular*. 2018.
15. Usman, A. Et al. Effect of Recycled Plastic in Mortar and Concrete and the Application of Gamma Irradiation - A Review, ICCEE 2018, E3S Web of Conferences 65, 05027, 12p, ISSN: 2267-1242. 2-5 de October de 2018.
16. Ambiente, APA - Agência Portuguesa do. Guia de Classificação de Resíduos. 16 de Março de 2017.
17. Consciente, Engenharia. [Online] [Citação: 20 de Julho de 2019.] <http://engenhariacivilconsciente.blogspot.com/2016/05/utilizacao-de-garrafas-pet-na.html>.
18. A. Harper, Charles. Handbook of Plastics, Elastomers, and Composites. [S.l.]: McGraw-Hill. 757 páginas. [Online]
19. Pereira, Marta e Silveira, Mariana. *ARGAMASSAS COM AGREGADO RECICLADO DE PLÁSTICOS*. Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto. 2017. Projeto de Licenciatura.
20. ZATTERA, Ademir J. et, Al. Caracterização de resíduos de copolímeros de etileno-acetato de vinila - EVA. Polímeros [cited 2019-10-23]. 2005, Vols. vol.15, n.1, pp. pp.73-78. SSN 0104-1428.
21. *PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS COM EVA (ETHYLENE VINYL ACETATE) EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO AGREGADO*. Andrade, Érica e Guimarães, Cleidson . 2017, REEC - Revista Eletronica de Engenharia Civil, Vols. 13, Nº1, pp. 174-192.
22. Virtual, Plástico. O que é EVA: acetato-vinila de etileno? [Online] 23 de Agosto de 2019. <https://plasticovirtual.com.br/o-que-e-eva-acetato-vinila-de-etileno/>.
23. Melo, A. and M. Filho. Avaliação de desempenho estrutural de protótipo com paredes construídas com blocos EVA. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Outubro de 2009, Vols. v. 9, n. 4, pp. p.141-155.
24. Leonardo L. C. Monteiro, Maria L. Garcia. Uso de Resíduos de Embalagens PET em Argamassas”, apresentado e publicado nas atas do CLBMCS 2018 - 3º Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, na Universidade de Coimbra. 16 de Fevereiro de 2018, artigo 292.

25. Monteiro, Leonardo. *Uso De Resíduos De Embalagens PET Em Betões*. ENGENHARIA CIVIL, ISEP. Porto : s.n., 2017. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de MESTRE .
26. Garcia, Maria Luz, Silva, Vitor e Dias, Vanessa. "SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AREIA POR PET EM ARGAMASSAS". *2º Congresso de Ensaios e Experimentação em Engenharia Civil*. Teste 2019, pp. pp149-160.
27. DIAS, VANESSA e SILVA, VÍTOR. *ARGAMASSAS COM AGREGADO RECICLADO DE PET*. Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto. 2018. Relatório Final da Unidade Curricular de Projeto Integrado (PROJI).
28. KOU, S. C. et al. Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes. Fevereiro de 2009, Vol. 29, n.2, pp. 621 - 628.
29. Baptista, M. et al,. "Recycling Eva From Footwear Industry As Aggregates For Cement Mortar" WASTES: Solutions, Treatments and Opportunities, 5th International Conference,. September de 2019.
30. Varela , Noel e Vieira, Fernando. *Cimento: Uma matéria-prima essencial no fabrico de argamassas* . 2005.
31. Ferreira, Manuel e Serra, Fernando Ribeiro. *CIMPOR – Cimentos de Portugal . Crescer no mundo através de aquisições... até quando?* Instituição Politécnico de Leiria. Caso de Estudo.
32. Secil. Secil - Dá forma às ideias. [Online] [Citação: 27 de 9 de 2019.] <http://www.secil-group.com/missao-visao-valores/a-secil-no-mundo/a-secil-no-mundo-portugal/>.
33. SECIL. CEMII/B-L 32.5N. *Ficha Técnica*. s.l., Outão, Portugal : SECIL, 09 de 2004 (Versão3).
34. Norma NP EN 1008. Água de amassadura para betão. Especificações para a amostragem, ensaio e avaliação da aptidão da água, incluindo água recuperada nos processos da indústria de betão, para o fabrico de betão. 2003.
35. Araújo, Francisco . Euromodal - DECLARAÇÃO DE DESEMPENHO.
36. Norma NP EN 933-1. Ensaio das propriedades geométricas dos agregados - Parte 1 - Análise granulométrica. Método de peneiração. 2000.
37. Norma EN 1015-2 . Methods of test for mortar for masonry - Parte 2 -Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars. 1998.
38. Norma NP EN 196-1. Métodos de Ensaio de Cimentos - Parte 1 - Determinação das resistências mecânicas. 2017.



39. Norma EN 1015-3. *European Standard, "Methods of test for mortar for masonry – Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)", European Committee for Standardization, (CEN).* February de 1999.
40. Norma EN 1015-6. "Methods of test for mortar for masonry – Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar", European Committee for Standardization (CEN),. October de 1998.
41. Norma EN 1015-12. *European Standard, "Methods of test for mortar for masonry – Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates", European Committee for Standardization (CEN).* February de 2000.
42. Fernandes, Henrique Manuel de Pinho. *"CARACTERIZAÇÃO DE PERFIS PULTRUDIDOS HÍBRIDOS"*. Porto : s.n., Outubro 2015. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica.
43. Kinda, Hannawi e Siham Kamali-Bernard. Physical and mechanical properties of mortars containing PET and PC waste aggregates. november de 2010, pp. 2312-2320.
44. Norma NP EN 1097-3. Ensaaios das propriedades físicas e mecânicas dos agregados. Parte 3 - Determinação da baridade e do volume de vazios. 2002.
45. Norma EN 1015-10. *European Standard, "Methods of test for mortar for masonry - Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar", European Committee for Standardization (CEN).* August de 1999.
46. Norma EN 1015-8. Draft European Standard, "Methods of test for mortar for masonry - Part 8: Determination of water retentivity of fresh mortar", European Committee for Standardization (CEN). October de 1998.
47. Norma EN 1015-11. *European Standard, "Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar", English European Committee for Standardization (CEN).* August de 1999.
48. Norma EN 1015-13. draft European Standard, "Methods of test for mortar for masonry – Part 13: Determination of dimensional stability of hardened mortars", European Committee for Standardization (CEN). February de 1993.
49. Norma EN 1015-18. *European Standard, "Methods of test for mortar for masonry – Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar", European Committee for Standardization (CEN).* December de 2002.
50. Norma EN 1015-19. *European Standard, "Methods of test for mortar for masonry – Part 19: Determination of water vapour permeability of hardened rendering and plastering mortars", European Committee for Standardization (CEN).* September de 1998.

51. Norma EN 1015-21. European Standard, “Methods of test for mortar for masonry – Part 19: Determination of the compatibility of one-coat rendering mortars with substrates”, European Committee for Standardization (CEN). March de 2002.
52. Ledur, J.G., et al. *DESENVOLVIMENTO DE COLETORES URBANOS APARTIR DA MISTURA PE/EVA*, in *Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 2006: Foz do Iguaçu, PR, Brasil*.
53. Santiago, E.Q.R., et al., . *Comportamento mecânico sob temperatura moderada de concreto leve reciclado produzido com resíduo de EVA e RCD*. *REVISTA IBRACON DE ESTRUTURAS E MATERIAIS*, 2009.
54. Silva, E.P., et al. *Avaliação de painéis de tijolos prensados de solo-cimento incorporados com resíduos de calçados (EVA)*. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 2008.
55. Pimentel, U. *UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE CALÇADOS EM BLOCOS DE VEDAÇÃO COM NOVAS GEOMETRIAS-BLOCO EVANG*, 2005, *UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA*.
56. SOUZA, L. *UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE EVA COMO AGREGADO GRAÚDO EM CONCRETOS*, in *DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL 2011, UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ*.
57. Graça, M. *Manual Prático para a Gestão de Resíduos 2009: VERLAG DASHOFER*.
58. DRE. *MINISTÉRIO DO AMBIENTE, D.O.D.T.E.D.D.R., Decreto-Lei n.º 46/2008 de 12 de Março, 2008*.
59. Rezende, R., et al. *PROPRIEDADES MECÂNICAS E MORFOLOGIA DE MISTURAS DE EVA E LDPE COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DE EVA E DE SBR*, in *9º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS*.
60. Sabrina, P. Blends of PVC with EVA from shoe industry. 2012. [Online]  
<http://www.bv.fapesp.br/pt/bolsas/112252/blendas-pvc-eva-proveniente-residuos/>.
61. Thales, L. Depolymerization of EVA from shoe industry wastes. 2012. [Online]  
<http://www.bv.fapesp.br/pt/bolsas/115985/despolicimerizacao-eva-provenientes-residuos-industria/>.
62. Norma NP EN 13139. Agregados para argamassas. 2005.
63. Limited, Granta Design. CES Edupack. *grantadesign*. [Online] 2016. [Citação: 10 de 10 de 2019.]  
<https://grantadesign.com/education/ces-edupack/>.
64. eCycle. [Online] [Citação: 22 de 9 de 2019.] <https://www.ecycle.com.br/706-tipos-de-plasticos>.
65. Sousa-Coutinho J. The combined benefits of CPF and RHA in improving the durability of concrete structures. 2003, pp. 25:51–9.
66. PHYWE Systeme GmbH & Co. *PHYWE High insulation house Owner Manual: 04507.90-99. Göttingen*.

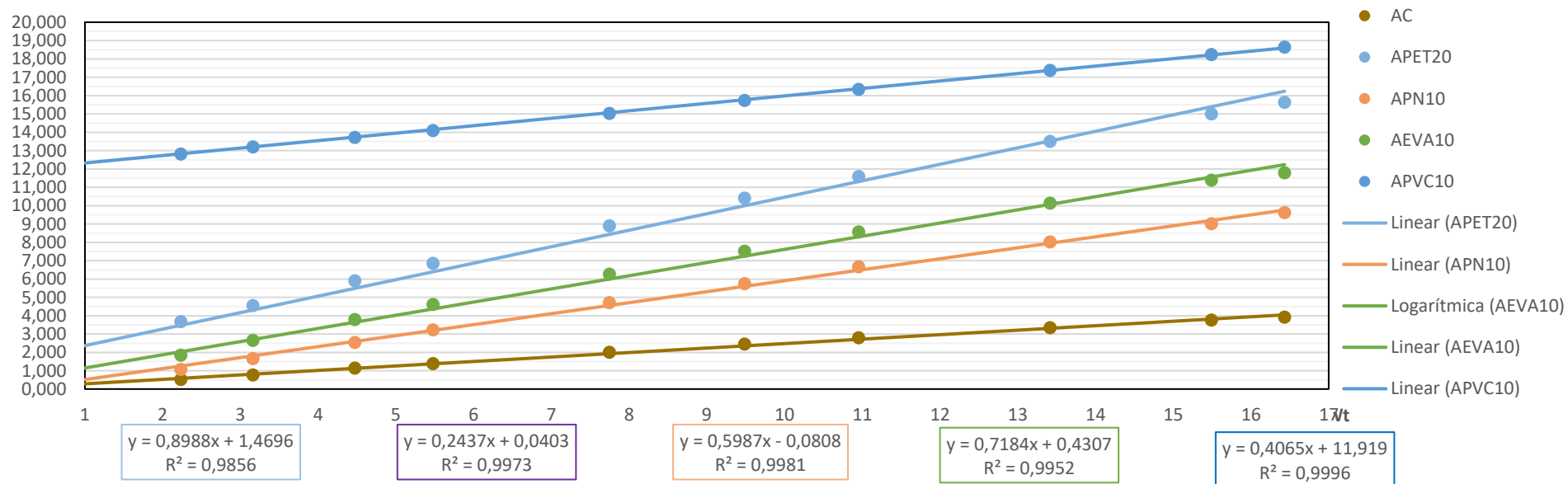
67. *PHYWE Systeme GmbH & Co. PHYWE Thermal regulation for high insulated house Owner Manual: 04506-93. Göttingen.*

68. RILEM TC 116. PCD, Permeability of concrete as a criterion of its durability, C: Determination of the capillary absorption of water of hardened concrete, *Materials and Structures*,. 1999, 32, pp. 178-179.

## ANEXO I- ENSAIO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA

1ª Campanha Experimental

### COEFICIENTE DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

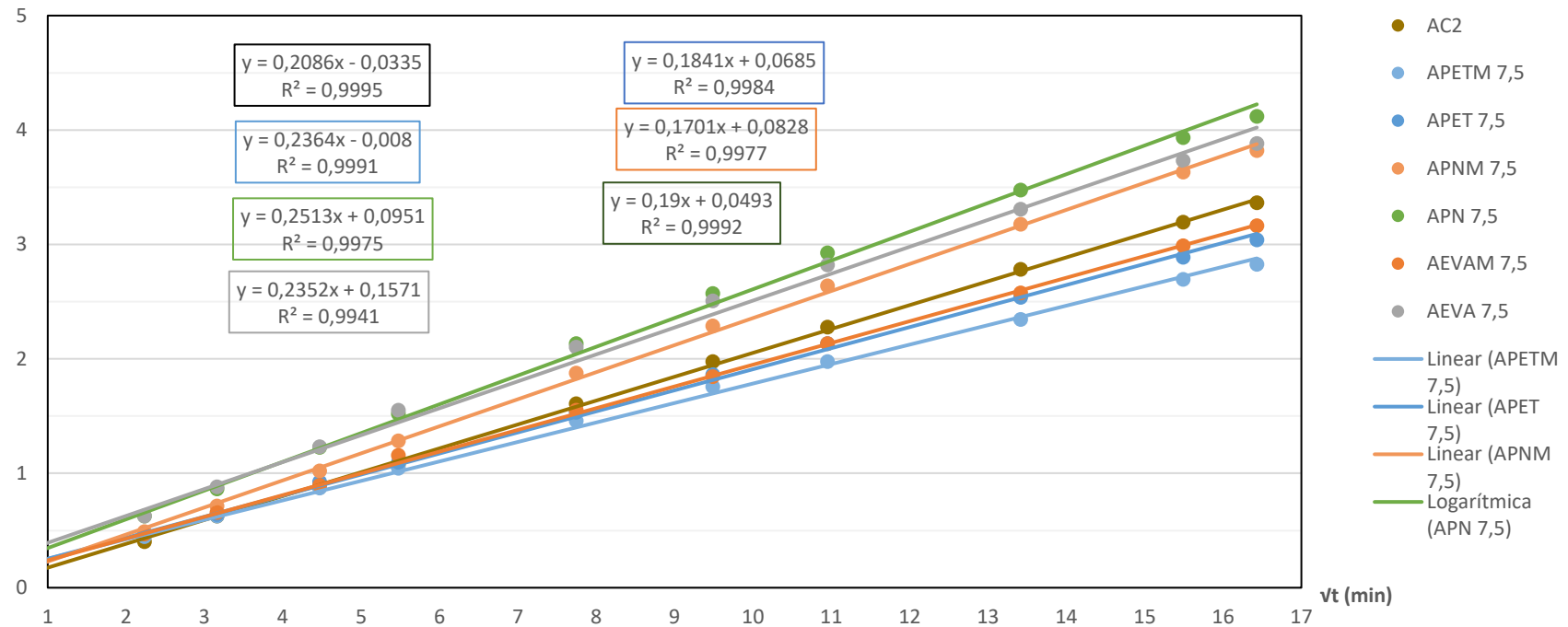


Provetes	AC	APET20	APVC10	APN10	AEVA10
Coeficientes de Absorção	0,244	0,899	0,599	0,718	0,407

## 2ª Campanha Experimental

mg/mm<sup>2</sup>

## COEFICIENTE DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE



Provetes	AC2	APET7,5	APETM7,5	APN7,5	APNM7,5	AEVA7,5	AEVAM7,5
Coeficientes de Absorção	0,209	0,184	0,170	0,251	0,236	0,235	0,190

## **ANEXO II - FICHA TÉCNICA DO CIMENTO**



# SUPRATEK CEM I 42,5R CIMENTO PORTLAND

## Locais de Produção

Fábrica Secil-Outão  
Fábrica Maceira-Liz

## Embalagem

Granel  
Sacos de 25kg

## Certificação

Cimento certificado segundo a NP EN 197-1.  
Certificado de Regularidade do Desempenho e Declaração  
de Desempenho 0856-CPR-0118 (Secil-Outão) e 0856-CPR-0124 (Maceira-Liz)



<b>Composição do Produto (Núcleo Cimento)</b>	95% a 100% Clínquer Portland 0% a 5% Outros Constituintes
<b>Principais Características</b>	Cimento de cor cinzenta, com elevado calor de hidratação. Desenvolvimento rápido da resistência (resistências iniciais elevadas). Resistências finais dentro dos valores da classe indicada (resistências aos 28 dias).
<b>Principais Aplicações</b>	O Cimento Portland Branco CEM I 42,5R é um produto de elevada qualidade e performance muito utilizado em obras de engenharia civil e na fabricação de betões de elevada a muito elevada resistência. É também particularmente adaptado aos trabalhos onde se exige uma resistência muito elevada aos primeiros dias após aplicação. As principais aplicações deste cimento são: <ul style="list-style-type: none"><li>• betão pronto ou fabricado em obra de elevada e muito elevada resistência inicial ou final;</li><li>• betões leves de elevada resistência;</li><li>• betão com aplicação de pré-esforço a idade jovens;</li><li>• betão aplicado em tempo frio;</li><li>• prefabricação ligeira pré-esforçada e pesada com alta rotatividade de moldes e pistas;</li><li>• caldas de selagem e injeção.</li></ul>
<b>Advertências Específicas</b>	O correto desenvolvimento de resistências é muito sensível ao processo de cura. <ul style="list-style-type: none"><li>• devem tomar-se cuidados para evitar a dissecação de todas as peças betonadas;</li><li>• devem evitar-se betonagens em tempo muito quente.</li></ul> <p>Este cimento permite a fabricação de betões de elevado desempenho mecânico, recomendando-se o estudo prévio de composições para obter a melhor performance. A utilização deste cimento é compatível com a introdução de adições de hidraulicidade latente e é usual a utilização de adjuvantes para melhoria da trabalhabilidade com eventual redução da relação água/cimento.</p>
<b>Informação de Segurança</b>	O manuseamento do cimento em pó pode causar irritação dos olhos e vias respiratórias. Quando misturado com água pode ainda causar sensibilização da pele. Aconselha-se o uso de máscara anti-poeiras, de óculos para proteção dos olhos e luvas e fato de trabalho para proteção das mãos e pele. Para informação detalhada consulte a Ficha de Dados de Segurança.





#### CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Propriedades	Método de Ensaio	Valor Especificado (1)
Perda ao Fogo	NP EN 196-2	$\leq 5,0\%$
Resíduo Insolúvel	NP EN 196-2	$\leq 5,0\%$
Teor de Sulfatos (em SO <sub>3</sub> )	NP EN 196-2	$\leq 4,0\%$
Teor de Cloretos	NP EN 196-2	$\leq 0,10\%$

(1) As percentagens são referidas à massa de cimento.

#### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

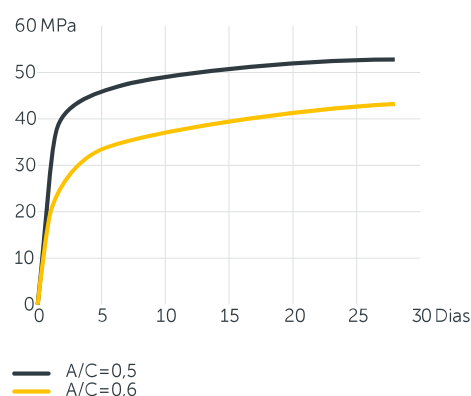
Propriedades	Método de Ensaio	Valor Especificado
Princípio de Presa	NP EN 196-3	$\geq 60$ min
Expansibilidade	NP EN 196-3	$\leq 10$ mm

#### CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS

##### Resistência à Compressão (MPa)

Resistência aos primeiros dias		Resistência de referência	NP EN 196-1
2 dias	7 dias	28 dias	
$\geq 20$	-	$\geq 42,5$ e $\leq 62,5$	

Valores médios indicativos da resistência à compressão de betão fabricado com 350 kg/m<sup>3</sup> de cimento CEM I 42,5R



Direção Executiva Portugal Cimentos  
Av. Eng.º Duarte Pacheco  
19, 7º, 1070-100 Lisboa

Tel - 217927100

Direção Nacional de Vendas  
Tel - 217 927 100

Vendas Norte  
Tel - 226 078 410

Vendas Centro  
Tel - 244 779 500

Vendas Sul  
Tel - 212 198 280

Vendas Técnicas  
Tel - 212 198 280

Cimento Branco  
Tel - 244 779 500

## **ANEXO III - FICHA TÉCNICA DO ADJUVANTE**



## DECLARAÇÃO DE DESEMPENHO

segundo anexo III do Regulamento (UE) No 305/2011

N.º 1612273501

1. Código de identificação único do produto-tipo:

**WOERMENT FM 735**

2. Tipo de produto:

**Tipo: Adjuvante superplastificante/forte redutor de água para betão EN 934-2:Q3.1/3.2**

3. Utilização(ões) prevista(s):

**Para betão**

4. Fabricante:

**EUROMODAL, LDA**

**Sede:**  
**Rua Aires Ornelas, 137**  
**4000-023 PORTO**

**Fábrica:**  
**Rua do Cheínho, 105**  
**4435-654 BAGUIM DO MONTE**

5. Sistema ou sistemas de avaliação e verificação da regularidade do desempenho (AVCP):

**Sistema 2+**

6. Norma Europeia harmonizada:

**EN 934-2:2009+A1:2012**  
**Adjuvantes para betão, argamassas e caldas de injeção.**  
**Parte 2: Adjuvantes para betão**  
**Definições, requisitos, conformidade, marcação e etiquetagem**

Organismo notificado:

**EIC-Empresa Internacional de Certificação**

com sede Rua da Tobis Portuguesa nº 8, 1750-292 Lisboa, organismo de certificação notificado com o número **1515**, realizou a inspeção inicial da unidade fabril e do controlo da produção em fábrica, executa o acompanhamento, apreciação e aprovação contínuos do controlo da produção em fábrica, no âmbito do sistema 2+, e emitiu o certificado de conformidade n.º **1515-CPR-0334**, em 24 de Março de 2014.

7. Desempenho declarado

Características essenciais	Desempenho
<b>Teor de cloretos</b>	$\leq 0,1$ % em massa
<b>Teor de álcalis</b>	$\leq 1,2$ % em massa
<b>Comportamento à corrosão</b>	Contém apenas componentes aprovados da EN 934-1: 2008, Anexo A.1
<b>Resistência à compressão</b>	Q 3.1 (2) Para igual consistência A 1 d: resistência à compressão do betão de ensaio $\geq 140$ % da do betão de controlo; Aos 28 d: resistência à compressão do betão de ensaio $\geq 115$ % da do betão de controlo.
	Q 3.2 (3) Para igual razão A/C Aos 28 d: resistência à compressão do betão de ensaio $\geq 90$ % da do betão de controlo.
<b>Redução de água</b>	Redução da quantidade de água do betão de ensaio $\geq 12$ % da quantidade de água do betão de controlo.
<b>Teor de ar do betão fresco (ar introduzido)</b>	Teor de ar do betão de ensaio é $\leq 2$ % (em volume) acima do teor de ar do betão de controlo.
<b>Consistência</b>	Q 3.2 (1) Para igual consistência Aumento do abaixamento $\geq 120$ mm em relação aos $(30 \pm 10)$ mm iniciais; Aumento do espalhamento $\geq 160$ mm em relação aos $(350 \pm 20)$ mm iniciais.
	Q 3.2 (2) Para igual razão A/C 30 min após adicionar o adjuvante, a consistência do betão de ensaio não desce abaixo da consistência inicial do betão de controlo.
<b>Substâncias perigosas</b>	NPD (Desempenho não declarado)

8. O desempenho do produto identificado nos pontos 1 e 2 está em conformidade com o conjunto de desempenhos declarados no ponto 7. A presente declaração de desempenho é emitida, em conformidade com o regulamento (UE) nº 305/2011, sob a exclusiva responsabilidade do fabricante identificado no ponto 4.

Assinado por e em nome do fabricante por **Francisco Araújo, Diretor Técnico**

Porto, 05 de abril de 2016

.....  
(assinatura)